

Pengujian laboratorium pada logam untuk ketahanan terhadap bentuk spesifik peretakan oleh lingkungan di dalam lingkungan H₂S

Laboratory testing of metals for resistance to specific forms of environmental cracking in H₂S environments



© BSN 2012

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	ii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif	3
3 Variabilitas pengujian EC.....	3
4 Reagen.....	5
5 Sifat material dan Spesimen Uji	6
6. Bejana uji dan alat pemegang.....	7
7. Larutan uji.....	8
8. Pengujian pada suhu / tekanan tinggi	9
9. Metode A uji tarik	14
10. Metode B–Uji tekuk-batang.....	25
11. Metoda C - standar pengujian cincin C	37
12. Metoda D–uji (DCB).....	47
Lampiran A.....	65
Lampiran B	68

Contents

Contents.....	i
1 Scope.....	1
2 Normative reference.....	3
3 EC Testing variability.....	3
4 Reagents.....	5
5 Test Specimens and Material Properties	6
5. Test vessels and fixtures	7
7. Test Solutions	8
8. Testing at elevated temperature/pressure	9
9 . Method A –tensile test.....	14
10. Method B–bent-beam test	25
11. Method C–C-ring test	37
12. Method D–DCB test	47
Appendix A.....	65
Appendix B.....	68

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) 6218:2012, *Pengujian laboratorium pada logam untuk ketahanan terhadap bentuk spesifik peretakan oleh lingkungan di dalam lingkungan H₂S* merupakan revisi dari SNI 07-6218-2000, *Metode pengujian laboratorium untuk ketahanan logam terhadap bentuk-bentuk spesifik peretakan yang diinduksi lingkungan di dalam lingkungan H₂S*.

Standar ini meliputi pengujian logam yang mengalami tegangan tarik untuk ketahanan terhadap kegagalan retakan dalam lingkungan *aqueous* pada pH rendah yang mengandung H₂S. Baja karbon dan baja paduan rendah umumnya diuji untuk ketahanan EC (environmental cracking/retak pengaruh lingkungan) pada suhu ruangan dimana kerentanan SSC secara tipikal tinggi. Untuk tipe aduan lainnya korrelasi dari kerentanan EC dengan suhu adalah lebih rumit.

SNI ini juga disusun sesuai dengan ketentuan yang diberikan dalam Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 08:2007 Penulisan SNI.

Standar ini disusun oleh Subpanitia Teknis 75-01-S1, *Pipeline Transportation System* dan telah dibahas dalam rapat konsensus lingkup panitia teknis di Jakarta pada tanggal 29-30 November 2010. dihadiri para wakil pemangku kepentingan dari kalangan produsen, konsumen, profesional/pakar dan pemerintah.

Standar ini telah melalui proses jajak pendapat pada tanggal 22 Februari 2012 sampai dengan 22 April 2012.

Pengujian laboratorium pada logam untuk ketahanan terhadap bentuk spesifik peretakan oleh lingkungan di dalam lingkungan H₂S

Laboratory testing of metals for resistance to specific forms of environmental cracking in H₂S environments

1 Ruang lingkup

1.1 Standar ini meliputi pengujian logam yang mengalami tegangan tarik untuk ketahanan terhadap kegagalan retakan dalam lingkungan *aqueous* pada pH rendah yang mengandung H₂S. Baja karbon dan baja paduan rendah umumnya diuji untuk ketahanan EC (*environmental cracking*/ retak pengaruh lingkungan) pada suhu ruangan dimana kerentanan SSC secara tipikal tinggi. Untuk tipe paduan lainnya korelasi dari kerentanan EC dengan suhu adalah lebih rumit.

1.2 Standar ini menjelaskan reagen-reagen, spesimen uji, dan peralatan yang digunakan, diskusi sifat material dasar dan spesimen uji, dan menentukan prosedur uji khusus untuk diikuti. Standar ini menjelaskan empat metode uji :

Metode A – Uji Tarik standar
Metode B – Uji tekuk-batang standar
Metode C – Uji cincin-C standar
Metode D – Uji batang-penyangga-ganda standar

Pasal 1 sampai 8 dari standar ini memberikan ulasan umum yang diaplikasikan untuk keempat metode uji. Pasal 9 sampai 12 menunjukkan metode uji setiap tipe spesimen uji untuk diikuti. Petunjuk umum untuk membantu menentukan kecocokan dari penjelasan tiap metode uji diberikan pada awal dari penjelasan tiap metode uji (pasal 9 sampai 12). Pelaporan hasil pengujian juga didiskusikan.

1.3 Logam dapat diuji ketahanannya terhadap EC, baik pada suhu dan tekanan ambien (atmosferik) atau lebih tinggi.

1 Scope

1.1 This standard covers the testing of metals subjected to tensile stresses for resistance to cracking failure in low pH aqueous environments containing H₂S. Carbon and low-alloys steels are commonly tested for EC resistance at room temperature where SSC susceptibility is typically high. For other types of alloys the correlation of EC susceptibility with temperature is more complicated.

1.2 This standard describes the reagents, test specimens, and equipment to use, discusses base material and test specimen properties, and specifies the test procedures to follow. This standard describes four test methods :

Method A – Standard tensile test
Method B – Standard bent-beam test
Method C – Standard C-ring test
Method D – Standard double-cantilever-beam (DCB) test

Sections 1 through 8 of this standard give general comments that apply to all four test methods. Sections 9 through 12 indicate the test method to follow for each type of test specimen. General guidelines to help to determine the aptness of each test method are given at the beginning of each test method description (sections 9 through 12). Reporting of the test results is also discussed.

1.3 Metals can be tested for resistance to EC at temperatures and pressures that are either ambient (atmospheric) or elevated.

1.3.1 Untuk pengujian pada kondisi ambien, prosedur uji dapat diringkas sebagai berikut: Spesimen uji yang sudah mengalami tegangan dicelupkan ke dalam lingkungan *aqueous* terasamkan yang mengandung H_2S . Beban yang diberikan dengan penambahan yang sesuai dapat digunakan untuk mendapatkan data EC.

1.3.2 Untuk pengujian pada suhu yang lebih tinggi dari $27^{\circ}C$ ($80^{\circ}F$), baik pada tekanan atmosferik atau yang lebih tinggi, Pasal 7 menjelaskan suatu teknik uji alternatif. Semua metode (A, B, C dan D) dapat diadaptasi pada teknik ini.

1.4 Standar ini dapat digunakan untuk melepas atau menerima hasil pengujian untuk memastikan bahwa produk memenuhi tingkat minimum tertentu dari tahanan EC seperti yang ditentukan pada API Specification 5CT, ISO 11960 atau seperti yang ditentukan oleh pemakai atau pembeli. Standar ini dapat juga menyediakan suatu ukuran kuantitatif ketahanan EC untuk riset atau sebagai informasi. Penilaian ini dapat berdasarkan pada:

Metoda A: Tegangan tertinggi yang tidak mengalami kegagalan dalam 720 jam.

Metoda B: Faktor Tegangan kritis (S_c) didasarkan secara statistik untuk 50% kemungkinan kegagalan dalam 720 jam.

Metoda C: Tegangan tertinggi yang tidak mengalami kegagalan dalam 720 jam.

Metoda D: Rata-Rata KISSC (ambang batas tegangan untuk SSC, *Sulfide Stress Cracking*) untuk pengujian yang sah dari tiruan specimen uji

1.5 Tindakan pencegahan untuk keselamatan: H_2S adalah gas yang sangat beracun yang harus ditangani secara hati-hati. (Lihat Lampiran A).

1.3.1 For testing at ambient conditions, the test procedures can be summarized as follows: Stressed test specimens are immersed in acidified aqueous environments containing H_2S . Applied loads at convenient increments can be used to obtain EC data.

1.3.2 For testing at temperatures higher than $27^{\circ}C$ ($80^{\circ}F$), at either atmospheric or elevated pressure, Section 8 describes an alternative test technique. All methods (A, B, C, and D) are adaptable to this technique.

1.4 This standard may be used for release or acceptance testing to ensure that the product meets a certain minimum level of EC resistance as prescribed in API(2) Specification 5CT,3 ISO(3) 11960,4 or as prescribed by the user or purchaser. This standard may also provide a quantitative measure of the product's EC resistance for research or informational purposes. This rating may be based on:

Method A The highest no-failure stress in 720 hours.

Method B The statistically based critical stress factor (S_c) for a 50% probability of failure in 720 hours.

Method C The highest no-failure stress in 720 hours.

Method D The average KISSC (threshold stress intensity factor for SSC, *Sulfide Stress Cracking*) for valid tests of replicate test specimens.

1.5 Safety Precautions: H_2S is an extremely toxic gas that must be handled with care. (See Appendix A.)

2. Acuan normatif

API Specification 5CT, *Specification for Casing and Tubing*

ISO 11960:2011, *Petroleum and natural gas industries – Steel pipes for use as casing or tubing for wells*

ANSI/NACE TM0284-2011, *Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steel for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking*

ASTM D 1193, *Standard Specification for Reagent Water*

ASTM A 370, *Standard Test Method and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*

ASTM G 49, *Standard Practice for Preparation and Use of Direct Tension Stress – Corrosion Test Specimens*

ASTM G 38, *Standard Practice for Making and Using C-Ring Stress-Corrosion Test Specimens*

2. Normative reference

API Specification 5CT, *Specification for Casing and Tubing*

ISO 11960:2011, *Petroleum and natural gas industries – Steel pipes for use as casing or tubing for wells*

ANSI/NACE TM0284-2011, *Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steel for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking*

ASTM D 1193, *Standard Specification for Reagent Water*

ASTM A 370, *Standard Test Method and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*

ASTM G 49, *Standard Practice for Preparation and Use of Direct Tension Stress – Corrosion Test Specimens*

ASTM G 38, *Standard Practice for Making and Using C-Ring Stress-Corrosion Test Specimens*

3 Variabilitas pengujian EC

3.1 Interpretasi hasil uji korosi tegangan adalah tugas yang sulit. Metode uji yang ada dalam standar ini adalah berat, dengan uji yang dipercepat menjadikan evaluasi data sangat sulit. Dalam menguji kemampuan reproduksi dari metode uji di antara laboratorium yang berbeda, beberapa efek samping yang tidak diinginkan, acap kali pada uji yang dipercepat, harus diperhatikan:

3.1.1 Lingkungan uji dapat menyebabkan kegagalan oleh HIC dan pelepuhan hidrogen. Hal ini terutama benar untuk baja dengan kekuatan lebih rendah yang tidak biasanya mengalami SSC. HIC dapat dideteksi secara visual dan pengamatan metalografi. Pelepuhan biasanya terlihat pada permukaan spesimen. (Untuk informasi lebih lanjut tentang fenomena ini,

2 EC Testing variability

3.1 Interpretation of stress corrosion test results is a difficult task. The test methods contained in this standard are severe, with accelerated tests making the evaluation of the data extremely difficult. In testing the reproducibility of the test methods among different laboratories, several undesirable side effects, frequent with many accelerated tests, must be noted:

3.1.1 The test environment may cause failure by HIC and hydrogen blistering. This is especially true for lower-strength steels not usually subject to SSC. HIC may be detected by visual and metallographic observations. Blistering is normally visible on the test specimen surface. (For further information regarding this phenomenon, see NACE

lihat NACE Standard TM0284).

3.1.2 Lingkungan uji dapat menyebabkan korosi beberapa paduan yang biasanya tidak terkorosi pada layanan lapangan yang sebenarnya dan dengan demikian menyebabkan kegagalan EC pada paduan yang biasanya tidak gagal oleh EC. Masalah ini terutama menjadi akut pada baja tahan karat martensitik dan pengerasan presipitasi.

3.2 Lebih lanjut, aspek lain yang dipertimbangkan dalam pemilihan metode uji termasuk:

3.2.1 Anisotropi material yang mempengaruhi sifat mekanik dan kerentanan EC terhadap retakan oleh lingkungan dapat menjadi suatu parameter yang penting. Jalur rekahan pada spesimen uji seyogyanya cocok dengan apa yang diantisipasi pada komponen yang sebenarnya.

3.2.2 Efek galvanik di antara logam yang berbeda dapat memacu atau menekan kerentanan terhadap retakan. Contoh kelakuan ini adalah EC yang dipacu pada beberapa paduan dasar nikel tahan korosi (CRAs) dan EC yang dihambat pada beberapa paduan baja tahan karat dupleks bila material ini dihubungkan secara elektrokimia dengan material kurang mulia seperti baja karbon dan paduan rendah.

3.2.3 Suhu uji mempengaruhi kerentanan retakan. Suhu uji di atas 24°C (75°F) dapat mengurangi keparahan SSC pada baja, sedangkan suhu uji di bawah 24°C (75°F) dapat menambah keparahan SSC.

3.2.4 Metode uji yang berbeda tidak harus memberikan peringkat yang sama dari material serupa.

3.2.5 Ketidakhomogenan material, seperti las-lasan dan segregasi dapat mempengaruhi hasil uji. Hal ini khususnya berlaku bila membandingkan hasil dari uji yang mengevaluasi suatu volume yang besar dari material (uji tarik), terhadap suatu volume yang kecil dari material (uji tekuk-

Standard TM0284).

3.1.2 The test environment may corrode some alloys that normally do not corrode in actual field service and thereby induce EC failures in alloys that ordinarily do not fail by EC. This problem especially acute with the martensitic and precipitation-hardened stainless steels.

3.2 Furthermore, other aspects to be considered in the selection of test method(s) include:

3.2.1 Material anisotropy affecting mechanical properties and EC susceptibility can be an important parameter. The fracture path in the test specimen should match what is anticipated in the actual component.

3.2.2 Galvanic effects between dissimilar metals can either accelerate or suppress cracking susceptibility. Examples of this behavior are accelerated EC in some nickel-based corrosion-resistant alloys (CRAs) and reduced EC in some duplex stainless steels when these materials are coupled to electrochemically less-noble materials such as carbon and low-alloy steels.

3.2.3 Test temperature affects cracking susceptibility. Test temperatures above 24°C (75°F) can reduce SSC severity in steels, whereas test temperatures below 24°C (75°F) can increase SSC severity.

3.2.4 Different test methods may not necessarily provide the same rankings of like materials.

3.2.5 Material inhomogeneity, such as weldments and segregation, can affect test results. This is particularly true when comparing results from tests that evaluate a large volume of material (tensile test), versus a small volume of material (bent-beam test).

batang).

3.2.6 Tegangan tidak-gagal maksimum untuk suatu periode pemaparan yang dispesifikasikan seyogianya dipertimbangkan sebagai tegangan ambang batas aparen. Pemaparan yang lebih lama atau jumlah spesimen-spesimen yang lebih banyak mungkin menghasilkan nilai ambang yang lebih rendah.

3.2.7 Hasil uji EC dapat menunjukkan variabilitas secara statistik. Pengujian ulang yang sama mungkin dibutuhkan untuk memperoleh nilai perwakilan yang mengkarakterisasi ketahanan terhadap EC.

3.2.8 Beberapa spesimen uji lebih cocok dari yang lain untuk pengukuran ketahanan EC di daerah setempat (seperti dekat permukaan atau tempat lainnya, dan di daerah las-lasan).

3.2.9 Beberapa tipe uji EC memerlukan waktu yang jauh lebih lama dari yang lainnya untuk penentuan ketahanan EC.

4 Reagen

4.1 Kemurnian reagen

4.1.1 Gas uji, natrium klorida (NaCl), asam asetat (CH_3COOH), natrium asetat (CH_3COONa), dan pelarut harus merupakan reagen atau bahan kimia murni (minimum kemurnian 99,5%). (Lihat Lampiran B).

4.1.2 Air uji harus didestilasi atau dideionisasi dan kualitasnya sama atau lebih tinggi dari ASTM tipe IV (ASTM D 1193). Air keran tidak boleh digunakan.

4.2 Gas lembam harus digunakan untuk menghilangkan oksigen. Gas lembam maksudnya adalah nitrogen, argon, atau gas nonreaktif lain yang sesuai dengan kemurnian tinggi.

3.2.6 Maximum no-failure stresses for a specified exposure period should be considered apparent threshold stresses. Longer exposure times or larger numbers of specimens may result in lower threshold values.

3.2.7 EC test results can show statistical variability. Replicate testing may be needed to obtain a representative value characterizing resistance to EC.

3.2.8 Some test specimens are better suited than others for measuring EC resistance in localized areas (e.g., near surfaces or other features, and in weld zones).

3.2.9 Some types of EC tests require considerably more time than others for determination of EC resistance.

4 Reagents

4.1 Reagent purity

4.1.1 The test gases, sodium chloride (NaCl), acetic acid (CH_3COOH), sodium acetate (CH_3COONa), and solvents shall be reagent or chemically pure (99.5% minimum purity) chemicals. (See Appendix B.)

4.1.2 The test water shall be distilled or deionized and of quality equal to or greater than ASTM Type IV (ASTM D 1193). Tap water shall not be used.

4.2 Inert gas shall be used for removal of oxygen. Inert gas shall mean high-purity nitrogen, argon, or other suitable nonreactive gas.

5 Sifat material dan spesimen uji

5.1 Lokasi dan orientasi dari spesimen uji yang akan diambil dari produk seyogyanya dipertimbangkan secara hati-hati sehingga hasil uji memberikan hasil yang sebenarnya dari performa yang diharapkan dalam penggunaan. Semua spesimen uji harus diambil dalam posisi sepadan secara metalurgi (yaitu, semua specimen uji seyogyanya mempunyai orientasi yang sama atau mirip dengan sifat mekanis dan mikrostruktur)

5.2 Pengujian tarik yang sesuai dengan metode uji standar seperti ASTM A 370 harus digunakan untuk menentukan sifat material dasar. Dua atau lebih spesimen uji harus ditarik, dan hasil uji individu harus dirata-ratakan untuk menentukan kekuatan luluh dan kekuatan tarik maksimum, persen perpanjangan, dan persen pengurangan luas untuk material. Pemessinan suatu spesimen uji tarik dari material yang berbatasan dengan dan dalam posisi dan orientasi yang sama seperti spesimen uji EC yang diuji dapat meminimumkan variasi sifat yang umumnya terjadi dari spesimen uji ke spesimen uji.

5.3 Pengujian tarik yang sesuai dengan metode uji standar seperti ASTM A 370 harus digunakan untuk menentukan sifat material dasar. Dua atau lebih spesimen uji harus ditarik, dan hasil uji individu harus dirata-ratakan untuk menentukan kekuatan luluh dan kekuatan tarik maksimum, persen perpanjangan, dan persen pengurangan luas untuk material. Pemessinan suatu spesimen uji tarik dari material yang berbatasan dengan dan dalam posisi dan orientasi yang sama seperti spesimen uji EC yang diuji dapat meminimumkan variasi sifat yang umumnya terjadi dari spesimen uji ke spesimen uji.

5.4 Sejumlah sifat material yang mendasar berkorelasi dengan kerentanan terhadap EC. Konsekuensinya, semua data yang berhubungan dengan komposisi kimia, sifat

5 Test Specimens and Material Properties

5.1 The location and orientation of the test specimens to be removed from the product should be carefully considered so that test results provide the most meaningful indication of the performance to be expected from that product when placed in service. All test specimens in a set should be taken from metallurgically equivalent positions (i.e., all test specimens should have the same orientation with similar or nearly the same microstructure and mechanical properties)

5.2 Tensile testing in accordance with standard test methods such as ASTM A 370 shall be used to determine base material properties. Two or more test specimens shall be pulled, and the individual test results shall be averaged to determine the yield and ultimate strengths, percent elongation, and percent reduction in area for the material. Machining a tensile test specimen from material adjacent to and in the same position and orientation as the EC test specimen to be tested can minimize property variations that normally occur from test specimen to test specimen.

5.3 Tensile testing in accordance with standard test methods such as ASTM A 370 shall be used to determine base material properties. Two or more test specimens shall be pulled, and the individual test results shall be averaged to determine the yield and ultimate strengths, percent elongation, and percent reduction in area for the material. Machining a tensile test specimen from material adjacent to and in the same position and orientation as the EC test specimen to be tested can minimize property variations that normally occur from test specimen to test specimen.

5.4 A number of fundamental material properties correlate with EC susceptibility. Consequently, all pertinent data on chemical composition,

mekanik, perlakuan panas, dan sejarah perlakuan mekanik (seperti persen pengurangan atau praregang akibat pengerjaan dingin) harus ditentukan dan dilaporkan bersama data uji tarik. Tiap perlakuan panas dan mikrostruktur yang berbeda dari material dengan komposisi kimia tertentu yang berbeda harus diuji seolah-olah berasal dari material yang berbeda.

5.5 Kekerasan boleh diukur pada spesimen uji sebelum atau sesudah pemaparan pada lingkungan uji. Namun, pengukuran ini tidak boleh dilakukan pada bagian evaluasi tegangan dari spesimen uji.

6 Bejana uji dan alat pemegang

6.1 Ukuran, bentuk dan mulut bejana uji harus ditentukan oleh spesimen uji dan alat pemegang uji spesimen yang digunakan untuk menegangkan spesimen uji.

6.2 Bejana uji harus dapat dialirkan gas lembam untuk mengeluarkan oksigen sebelum pengujian dimulai dan menjaga udara tidak masuk selama pengujian. Penggunaan mulut keluaran kecil pada saluran keluaran H_2S untuk mempertahankan tekanan balik air pada bejana uji sebesar 25 mm (1,0 inci) akan mencegah oksigen masuk melalui tirisan kecil atau secara difusi ke saluran buang. (Lihat lampiran B, pada tulisan "Alasan pengeluaran oksigen.")

6.3 Bejana uji harus ditentukan ukurannya sedemikian untuk mempertahankan volume larutan uji dalam batas yang dispesifikasikan relatif terhadap luas permukaan spesimen uji untuk menstandarkan penyimpangan pH terhadap waktu. (Lihat setiap metode uji untuk batas yang dispesifikasikan).

6.4 Bejana uji harus dikonstruksi dari material yang lembam terhadap lingkungan uji. Beberapa bejana uji plastik memberikan layanan yang memuaskan, yang lainnya dapat menyebabkan bervariasinya hasil uji sejak saat baru digunakan sampai setelah digunakan terus menerus. Bejana gelas uji tidak memperlihatkan kecenderungan ini.

mechanical properties, heat treatment, and mechanical histories (such as percent cold reduction or prestrain) shall be determined and reported with the tensile test data. Each different heat treatment and microstructure of a material of a fixed chemical composition shall be tested as though it were a different material.

5.5 Hardness may be measured on the test specimen before or after exposure to the test environment. However, these measurements shall not be made on stressed evaluation portion of the test specimen.

6 Test vessels and fixtures

6.1 The size, shape, and entry ports of the test vessels shall be determined by the actual test specimens and test fixtures used to stress the test specimens.

6.2 Test Vessels shall be capable of being purged to remove oxygen before beginning the test and of keeping air out during the test. Using a small outlet trap on the H_2S effluent line to maintain 250 Pa (1,0 in H_2O) back pressure on the test vessel prevents oxygen entry through small leaks or by diffusion up the vent line. (See Appendix B, section titled "Reasons for Exclusion of Oxygen.")

6.3 Test vessels shall be sized to maintain the test solution volume within the specified limits relative to the test specimen surface area to standardize the drift of pH with time. (See each test method for specified limits.)

6.4 Test vessels shall be constructed from materials that are inert to the test environment. While some plastic test vessels give satisfactory service, others may cause varying test results from the time they are new until after they have been in continuous use. Glass test vessels have not exhibited

6.5 Spesimen uji harus diisolasi listrik dari bejana uji dan alat pemegangnya yang terbuat dari logam yang berbeda jika logam yang berbeda ini kontak dengan lingkungan uji.

6.6 Material insulasi listrik yang kaku dan tidak memperlihatkan relaksasi atau pergerakan pada pembebanan seyogyanya dipilih untuk pembebanan atau pendeleksian spesimen uji.

6.7 Kopling galvanik

6.7.1 Mungkin diperlukan untuk mengevaluasi efek hubungan galvanik pada ketahanan EC, seperti pada kasus penghubungan paduan tahan karat atau CRAs dengan baja (lihat sub pasal 3.2.2)

6.7.1.1 Untuk mengevaluasi ini, hubungan galvanik besi atau baja yang mempunyai luas permukaan antara 0,5 sampai 1 kali luas permukaan terpapar dari spesimen uji seyogyanya diikat kuat dengan baut ke spesimen uji.

6.7.2 Partikel besi sulfida dapat menghantarkan listrik. Jika terdepositasi pada material insulasi, dapat menyediakan hubungan listrik antara material dan dapat mempengaruhi hasil uji.

7 Larutan uji

7.1 Larutan uji A

7.1.1 Larutan Uji A adalah suatu larutan asam dan *buffer*, air H₂S jenuh dan larutan garam.

7.1.2 Larutan Uji A harus terdiri dari 5,0% berat garam klorida dan 0,5 % berat asetat glasial yang larut dalam air destilasi atau air deionisasi (contoh: 50,0 g NaCl dan 5,0 g CH₃COOH dilarutkan di dalam 945 g air destilasi atau air deionisasi)

7.1.3 pH larutan uji sebelum atau setelah H₂S jenuh, tetapi sebelum bersentuhan dengan spesimen uji diharapkan dalam rentang 2,6 dan 2,8. Masing-masing laboratorium harus mempunyai prosedur

this tendency.

6.5 Test specimens shall be electrically isolated from test vessels and test fixtures made from dissimilar metals if the dissimilar metal is in contact with the test environment.

6.6 Rigid electrical insulating materials not exhibiting relaxation or flow under load should be selected for loading or deflecting the test specimen.

6.7 Galvanic coupling

6.7.1 It may be necessary to evaluate the effects of galvanic coupling on EC resistance, such as in the case of coupling stainless alloys or CRAs to steel (see Paragraph 3.2.2).

6.7.1.1 To evaluate this, galvanic couples of iron or steel having a surface area between 0,5 to 1 times the exposed area of the test specimen should be bolted securely to the test specimen.

6.7.2 Particles of iron sulfide can be electrically conductive. If deposited on insulating materials, they can provide electrical connection between materials and affect the results of the tests.

7 Test solutions

7.1 Test solution A

7.1.1 Test solution A is an acidified and buffered, H₂S saturated aqueous brine solution.

7.1.2 Test solution A shall consist of 5,0 wt% sodium chloride and 0,5 wt% glacial acetic acid dissolved in distilled or deionized water (e.g., 50,0 g of NaCl and 5,0 g of CH₃COOH dissolved in 945 g of distilled or deionized water).

7.1.3 Test solution pH before or after H₂S saturation but before contact with a test specimen is expected to range between 2,6 and 2,8. Each laboratory shall have a demonstrated and

yang terdokumentasi dan terbukti untuk pembersihan untuk memverifikasi bahwa pH tidak melebihi 3,0 untuk larutan uji A setelah dibersihkan. Selama pengujian, pH boleh naik tetapi tidak melebihi 4,0. Jika pH melebihi 4,0, uji tidak sah. Jika rasio volume larutan uji terhadap luas permukaan spesimen uji terjaga dan tahapan yang diambil untuk mengeluarkan oksigen dari bejana uji sebagaimana yang ditentukan dalam standar ini, pH tidak akan melebihi nilai tersebut.

7.1.4 Larutan uji A harus digunakan dalam metoda A, C, dan D kecuali jika menggunakan larutan uji B atau larutan uji C yang ditentukan oleh pemakai atau pembeli.

8 Pengujian pada suhu/tekanan tinggi

8.1 Mekanisme retakan yang dominan untuk kebanyakan kelas material dengan adanya H_2S bervariasi dengan suhu. Retakan baja feritik dan baja tahan karat feritik dan martensitik terutama disebabkan oleh hidrogen (sebagai contoh pada proses katodik) dan mempunyai kerentanan maksimum dekat suhu kamar. Untuk baja tahan karat austenitik, sejalan dengan naiknya suhu, kerentanan untuk meretak meningkat terutama karena kontribusi dari proses anodik. Baja tahan karat dupleks memperlihatkan perilaku campuran, dengan maksimum kerentanan untuk meretak dalam selang suhumenengah. Untuk memudahkan pengujian dalam kondisi layanan yang disimulasikan atau memprediksi kondisi kasus terburuk, dan untuk memudahkan pengujian dengan tekanan parsial H_2S melebihi 100 kPa (14,5 psia), teknik yang telah dimodifikasi berikut ini tersedia.

8.2 Pengujian pada suhutan tekanan lebih tinggi meliputi penambahan pertimbangan keselamatan dibandingkan dengan pengujian pada suhu kamar dan tekanan atmosferik. Meskipun beberapa petunjuk umum diberikan disini, hal ini mungkin tidak ditujukan untuk semua aspek dan seyogyanya dilengkapi untuk menyesuaikan dengan persyaratan-persyaratan keselamatan setempat. Karena H_2S mungkin terkonsumsi selama pengujian,

documented procedure for purging to verify that the pH has not exceeded 3,0 for test solution A after purging. During the test, pH may increase but shall not exceed 4,0. If the pH exceeds 4,0, the test is invalid. If the test-solution-volume to test-specimen-surface-area ratio is maintained and steps are taken to exclude oxygen from the test vessel as specified in this standard, the pH will not exceed this value.

7.1.4 Test solution A shall be used in methods A, C, and D unless the use of test solution B or test solution C is specified by the user or purchaser.

8 Testing at elevated temperature / pressure

8.1 The dominant cracking mechanisms for most classes of materials in the presence of H_2S vary with temperature. Ferritic steels and ferritic and martensitic stainless steels crack primarily by a hydrogen (i.e., cathodic) mechanism and have maximum susceptibility near room temperature. For austenitic stainless steels, as temperature increases, cracking susceptibility increases due to the major contribution from anodic processes. Duplex stainless steels exhibit mixed behavior, with maximum susceptibility to cracking in a mid-range of temperatures. To facilitate testing in simulated service conditions or to predict worst-case conditions, and to facilitate testing with H_2S partial pressure exceeding 100 kPa (14,5 psia), the following modified techniques are available.

8.2 Testing at elevated temperatures and pressures involves additional safety considerations compared with room temperature and atmospheric pressure testing. While some general guidance is given herein, it may not address all aspects and should be supplemented to accord with local safety requirements. Because H_2S may be consumed during the test, gas replenishment and continuous gas bubbling techniques are

teknik penggantian ulang gas dan pembuihan gas secara kontinu dijelaskan. Laju kehilangan H_2S dan efeknya terhadap sifat korosivitas lingkungan uji merupakan fungsi-fungsi dari beberapa faktor, termasuk laju korosi dari material uji dan tekanan parsial H_2S dalam lingkungan uji. Petunjuk diberikan pada pengukuran padamana pengalaman telah menunjukkan untuk menjaga tekanan parsial H_2S yang memadai, tetapi dalam semua kasus hal ini perlu ditunjukkan, dengan mengukur konsentrasi H_2S baik dalam larutan uji atau dalam fasa gas bahwa kondisi uji yang diperlukan telah dipertahankan. Informasi ini harus dilaporkan bersama data uji.

8.3 Peralatan uji

Peralatan uji harus terdiri dari sebuah bejana uji dan peralatan pelengkap yang tahan terhadap korosi dan tekanan yang setara dengan kondisi uji dan dengan batas keselamatan yang memadai.

8.3.1 Bejana harus dilengkapi dengan sebuah tempat termokopel atau cara lainnya untuk mengukur suhu larutan uji, tempat masuk dan keluar gas, sebuah pipa celup yang dihubungkan pada tempat masuk, dan sebuah alat pengukur tekanan.

8.3.2 Jika pembuihan gas yang kontinu digunakan, sebuah condenser pada tempat keluar gas dapat digunakan untuk membatasi kehilangan larutan uji. Hal ini telah terbukti bermanfaat pada suhu lebih besar dari $50^{\circ}C$ ($120^{\circ}F$) dan / atau jika volume larutan uji kurang dari 200 cm^3 .

8.3.3 Suatu piringan yang dapat pecah atau katup pembebas tekanan biasanya digunakan untuk alasan keselamatan.

8.3.4 Jika pembuihan gas yang kontinu digunakan, sebuah condenser pada tempat keluar gas dapat digunakan untuk membatasi kehilangan larutan uji. Hal ini telah terbukti bermanfaat pada suhu lebih besar dari $50^{\circ}C$ ($120^{\circ}F$) dan / atau jika volume larutan uji kurang dari 200 cm^3 .

8.3.5 Suatu piringan yang dapat pecah atau katup pembebas tekanan biasanya digunakan untuk alasan keselamatan.

described. The H_2S loss rate and its effect on the corrosiveness of the test environment are functions of several factors, including the corrosion rate of the test material and the partial pressure at H_2S in the test environment. Guidance is given of measures that experience has shown to be appropriate for maintaining the required H_2S partial pressure, but in all cases it is necessary to demonstrate, by measuring H_2S concentration in either the test solution or gas phase, that the required test conditions have been maintained. This information must be reported with the test data.

8.3 Test equipment

The test equipment shall consist of a test vessel and accessory equipment rated to withstand corrosion and pressure commensurate with the test conditions and with an appropriate safety margin.

8.3.1 The vessel shall be equipped with a thermocouple well or other means of measuring the temperature of the test solution, inlet and outlet ports for gas, a dip tube on the inlet port, and a pressure-measuring device.

8.3.2 If continuous gas bubbling is to be used, a condenser on the outlet port may be used to limit loss of test solution. This has been found to be useful at temperatures greater than $50^{\circ}C$ ($120^{\circ}F$) and/or when the volume of the test solution is less than 200 cm^3 .

8.3.3 A bursting (rupture) disc or pressure-relief valve is generally used for safety reasons.

8.3.4 If continuous gas bubbling is to be used, a condenser on the outlet port may be used to limit loss of test solution. This has been found to be useful at temperatures greater than $50^{\circ}C$ ($120^{\circ}F$) and/or when the volume of the test solution is less than 200 cm^3 .

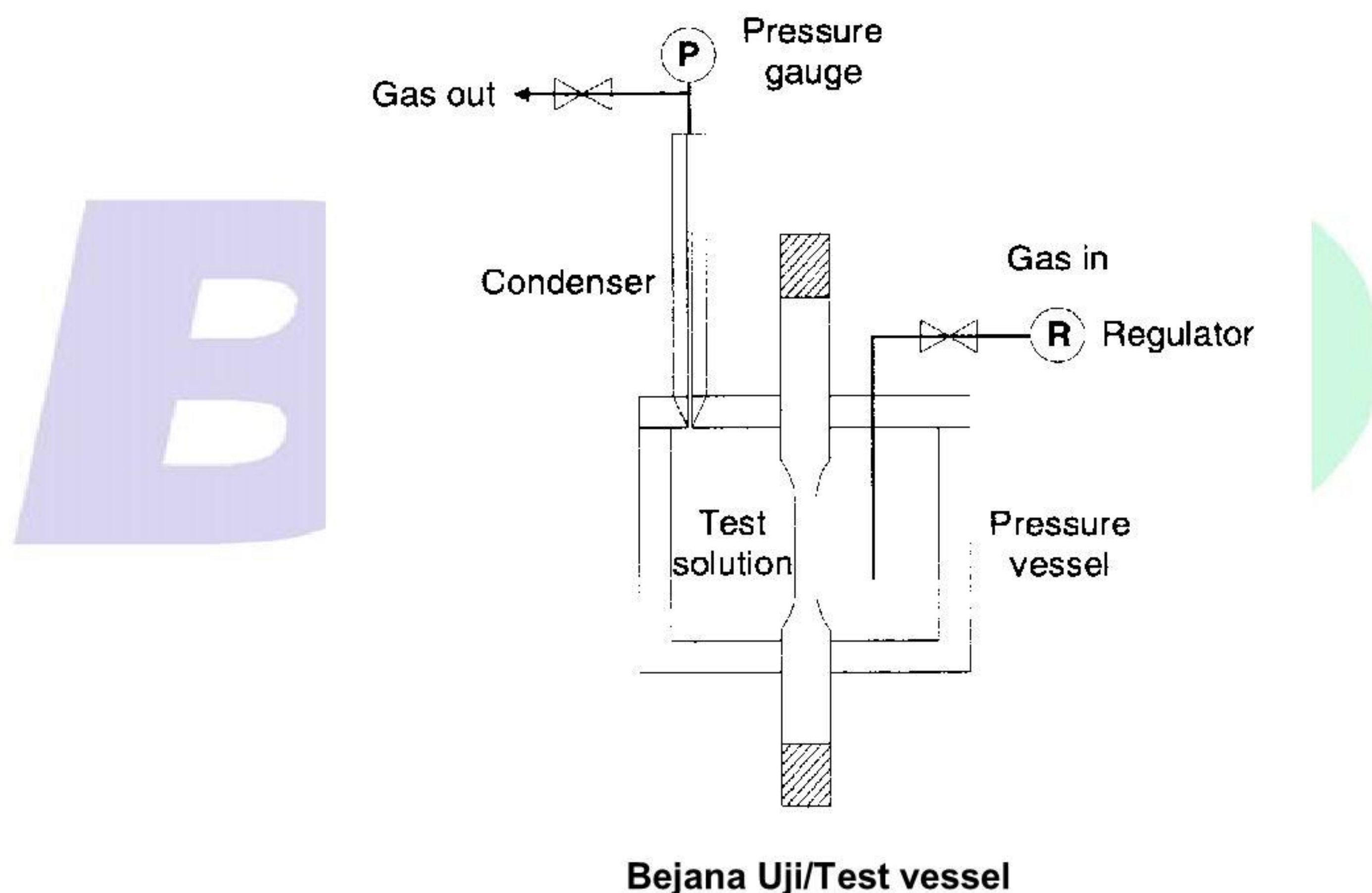
8.3.5 A bursting (rupture) disc or pressure-relief valve is generally used for safety reasons.

8.3.6 Alat pengukur tekanan harus mempunyai akurasi $\pm 1\%$ dari tekanan sistim maksimum. Jika tekanan diukur dengan gauge, tekanan sistim maksimum harus lebih besar dari 20% dan lebih kecil dari 80% skala gauge penuh. Susunan skematik peralatan uji yang digunakan untuk metode uji yang beraneka ragam diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2.

8.3.7 Material penyekat elastomer, jika digunakan, harus tahan H_2S pada suhu saat digunakan seperti yang telah diverifikasi pada pengukuran terpisah.

8.3.6 The pressure-measuring device shall have an accuracy of $\pm 1\%$ of the maximum system pressure. If the pressure is measured by a gauge, the maximum system pressure shall be greater than 20% and less than 80% of gauge full scale. Schematic arrangements of test equipment used for the various test methods are shown in Figures 1 and 2.

8.3.7 Elastomeric seal materials, if used, must resist H_2S at the temperature of use as verified by independent measurement.



Gambar 1 - Susunan skematik dari peralatan uji untuk Metode A – Uji tarik

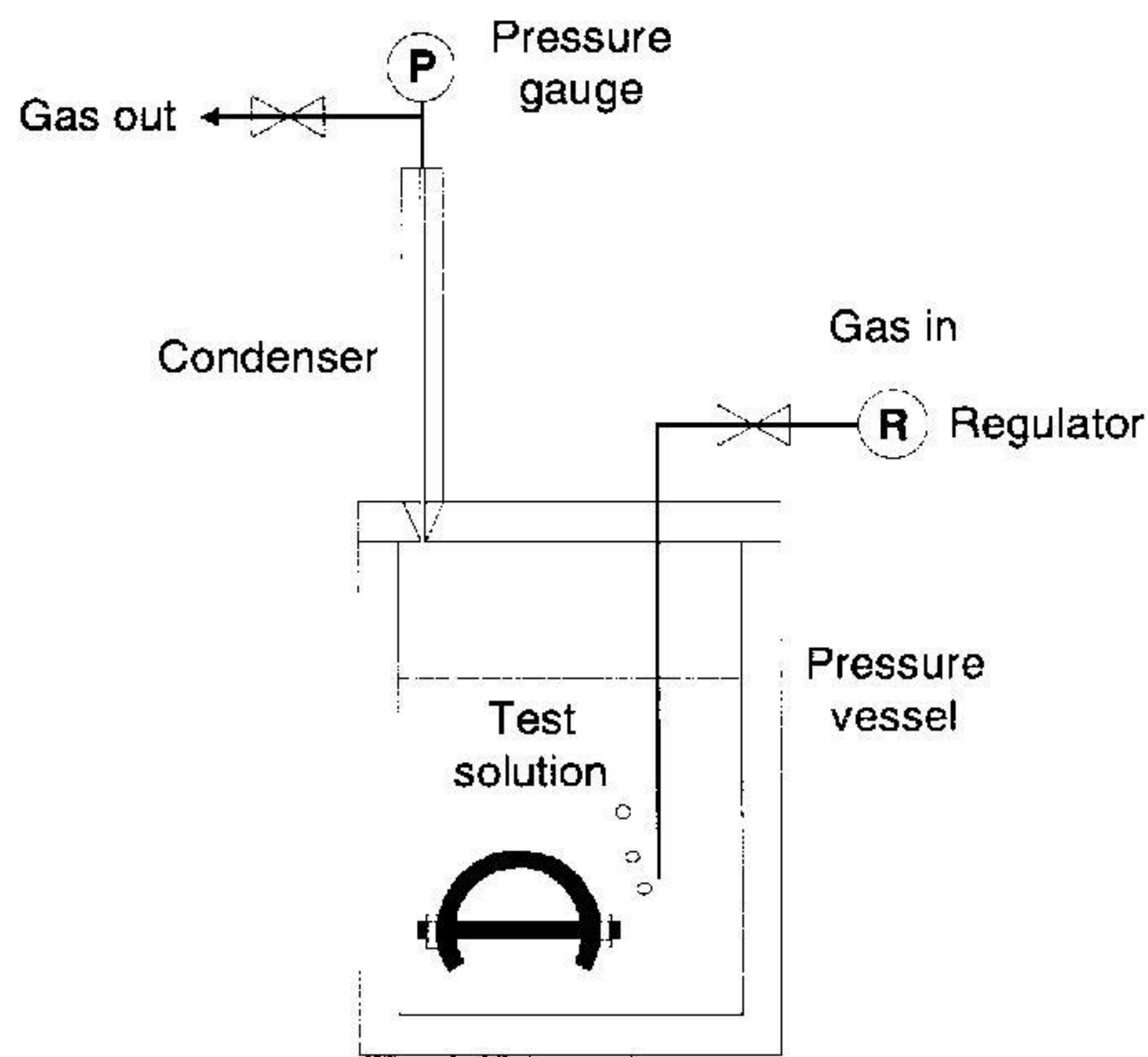
Figure 1 - Schematic arrangement of test equipment for Method A – Standard tensile test

8.4 Larutan uji

Larutan uji yang digunakan dalam pengujian dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan spesifikasi uji. Larutan uji biasa nya terdiri dari air garam (NaCl) pada berbagai konsentrasi hingga jenuh. Pengasaman dengan larutan penyangga yang diizinkan, analog dengan metode pada suhu kamar. Larutan uji juga dapat berisi elemen sulfur.

8.4 Test solution

The test solution used in the test may be selected as required by the test specification. The test solution usually consists of brine (NaCl) at concentrations up to saturation. Buffered acidification is permitted, analogous to room-temperature methods. Also, the test solution may contain elemental sulfur.



Gambar 2 - Susunan skematik dari peralatan uji untuk Metode B-Uji tekuk batang Metode C - Uji cincin C Metode D - Uji batang penyangga ganda

Figure 2 - Schematic arrangement of test equipment for Method B - Bent beam test Method C – C-ring test Method D - Double cantilever beam test

8.5 Gas uji

Gas uji biasanya suatu campuran dari dua atau lebih gas berikut ini: H_2S , CO_2 , dan gas lembam seperti N_2 atau Ar. Pada tekanan parsial H_2S yang rendah, uji dalam gas lembam tanpa CO_2 membutuhkan interpretasi yang cermat karena efek kelarutan produk korosi. Campuran gas uji seyogyanya berada dalam suatu botol gas standar yang dilengkapi dengan sebuah alat pengatur tekanan yang sesuai (biasanya baja tahan karat) yang mampu mengirim gas hingga tekanan uji total yang diperlukan. Suatu campuran gas yang dipasok secara komersial dengan komposisi yang ditentukan dengan analisis seyogyanya digunakan.

8.5 Test gas

The test gas is usually a mixture of two or more of the following: H_2S , CO_2 , and inert gas such as N_2 or Ar. At low H_2S partial pressures, tests in inert gas without CO_2 require careful interpretation because of corrosion product solubility effects.¹¹ The test gas mixture should be contained in a standard gas bottle equipped with a suitable pressure regulator (usually stainless steel) capable of gas delivery to the total test pressure required. A commercially supplied gas mixture with composition determined by analysis should be used.

8.6 Prosedur uji

Prosedur uji harus serupa dengan yang telah dispesifikasikan untuk uji suhu kamar kecuali jika terdapat pengecualian atau diperbaiki sebagai berikut:

8.6 Test procedure

Test procedures shall be identical to those specified for room-temperature tests unless excepted or amended as follows:

8.6.1 Larutan uji dan spesimen uji harus diletakkan di dalam bejana uji, kemudian

8.6.1 The test solution and test specimen(s) shall be placed in the test

bejana harus disekat dan diuji kebocorannya. Bejana uji biasanya diuji kebocorannya dengan gas lembam pada tekanan 1,5 kali tekanan uji maksimum.

8.6.2 Pemuaian larutan uji pada pemanasan dapat memenuhi bejana uji dan menyebabkan resiko peledakan. Volume larutan uji seyogyanya kurang dari 75% dari volume total bejana uji. Selain itu, suatu batas keselamatan yang lebih besar (persentasi lebih kecil dari volume total) seyogyanya digunakan pada suhu yang melebihi 225°C (435°F).

8.6.3 Larutan uji harus dideaerasi dengan pembuihan gas lembam melalui tube pemasukan gas ke dalam larutan uji untuk periode minimum 1 jam / Liter larutan uji.

8.6.4 Tekanan parsial H_2S , p_{H_2S} , dalam lingkungan uji harus ditentukan oleh satu dari dua metode berikut ini:

8.6.4.1 Bejana dipanaskan sebelum gas uji dimasukkan.

8.6.4.1.1 Bejana uji harus dipanaskan dengan katup yang tertutup hingga suhu uji dan distabilkan. Tekanan sistim (tekanan uap larutan uji), P_1 , harus diukur.

8.6.4.1.2 Gas uji harus dimasukkan ke bejana hingga tekanan uji, P_T , dicapai.

8.6.4.1.3 Tekanan parsial H_2S , p_{H_2S} , dalam lingkungan uji diberikan secara kurang lebih seperti pada persamaan (1):

$$p_{H_2S} = (P_T - P_1) X_{H_2S} \quad (1)$$

Keterangan

P_T = tekanan uji absolut total;
 P_1 = tekanan uap di atas larutan uji; dan

X_{H_2S} = fraksi mol H_2S dalam gas uji.

8.6.4.2 Gas dimasukkan sebelum bejana dipanaskan.

vessel, then the vessel shall be sealed and leak tested. Test Vessels are usually tested for leaks with inert gas at 1,5 times the maximum test pressure.

8.6.2 The expansion of test solution on heating can fill the test vessel and risk explosion. The volume of test solution should be less than 75% of the total volume of the test vessel. Moreover, a greater safety margin (smaller percentage of total volume) should be used at temperatures exceeding 225°C (435°F).

8.6.3 The test solution shall be deaerated by bubbling inert gas through the gas inlet tube into the test solution for a minimum period of 1 h/L of test solution.

8.6.4 The H_2S partial pressure, p_{H_2S} , in the test environment shall be determined by one of the following two methods:

8.6.4.1 Test Vessel heated before test gas admitted.

8.6.4.1.1 The test Vessel shall be heated with valves closed to test temperature and stabilized. System pressure (the vapor pressure of the test solution), P_1 , shall be measured.

8.6.4.1.2 Test Gas shall be admitted to the vessel until the test pressure, P_T , is reached.

8.6.4.1.3 The H_2S partial pressure, p_{H_2S} , in the test environment is given approximately in Equation (1):

Where

P_T = total absolute test pressure;
 P_1 = vapor pressure above the test solution; and

X_{H_2S} = mole fraction of H_2S in the test gas

8.6.4.2 Gas admitted before vessel heated.

Gas dapat dimasukkan ke dalam bejana sebelum pemanasan, jika pembuktian cara-cara perhitungan pH_2S dapat ditunjukkan.

8.6.5 Gas uji harus diganti ulang sesuai dengan kebutuhan untuk menjaga kondisi uji yang diperlukan (terutama tekanan parsial H_2S) seperti diuraikan pada Paragraf 8.2. Pembuihan gas uji yang kontinyu pada 0,5 hingga 1,0 mL/ menit atau penggantian ulang gas uji secara periodik sekali atau dua kali seminggu telah ditemukan perlu bila pengujian CRAs pada tekanan parsial H_2S di bawah 2 kPa (absolut) (0,3 psia) atau baja karbon dan paduan pada tekanan parsial H_2S di bawah 100 kPa (absolut (14,5 psia) dilakukan. Kehilangan larutan uji dan masuknya oksigen selama penambahan gas uji harus dihindari.

8.6.6 Lamanya pengujian harus seperti yang telah dispesifikasikan untuk metode uji yang dapat dipakai (A, B, C, atau D). Suhu pengujian untuk metode A, B, dan C harus dipertahankan dalam selang $\pm 3^\circ\text{C}$ ($\pm 5^\circ\text{F}$) dari suhu yang telah dispesifikasikan dan dicatat secara manual setiap hari atau dengan interval yang lebih pendek dengan menggunakan pencatat data. Untuk metode D, suhu uji harus dijaga dalam rentang $\pm 1,7^\circ\text{C}$ ($\pm 3,0^\circ\text{F}$). Tekanan harus dimonitor dan dicatat setiap hari. Jika tekanan uji turun lebih dari 40 kPa (6 psia) di bawah tekanan uji yang diperlukan, gas uji harus diganti ulang.

8.6.7 Selesai pengujian, bejana uji seyogianya dibersihkan dengan mengalirkan gas lembam selama pendinginan ke suhu ambien sebelum dibuka. Beban seyogianya ditiadakan sebelum pendinginan, jika memungkinkan, bila menggunakan peralatan dengan pembebanan eksternal.

9 Metode A - Uji tarik

9.1 Metode A, uji tarik, untuk mengevaluasi ketahanan EC logam pada pembebanan tarik satu sumbu. Metode ini mengusulkan penggunaan spesimen uji tarik tanpa takikan sederhana dengan suatu keadaan tegangan yang terdefinisi. Dengan metode A kerentanan terhadap EC biasanya ditentukan oleh waktu yang dibutuhkan sampai gagal. Spesimen uji tarik yang dibebankan hingga

Gas may be admitted to the vessel before heating if a proven means of calculating pH_2S can be demonstrated.

3.6.5 Test Gas shall be replenished as needed to maintain the required test conditions (primarily H_2S partial pressure) as outlined in Paragraph 8.2. Continuous test gas bubbling at 0,5 to 1,0 mL/min or periodic test gas replenishment once or twice weekly has been found necessary when testing CRAs at H_2S partial pressures below 2 kPa (absolute) (0,3 psia) or carbon and alloy steels at H_2S partial pressures below 100 kPa (absolute) (14,5 psia). Test solution loss and ingress of oxygen during test gas replenishment shall be avoided.

8.6.6 The test duration shall be as specified for the applicable test method (A, B, C, or D). The test temperature for Methods A, B, and C shall be maintained within $\pm 3^\circ\text{C}$ ($\pm 5^\circ\text{F}$) of the specified test temperature and recorded manually on a daily basis or at shorter intervals by data recorder. For Method D, test temperature shall be maintained within $\pm 1,7^\circ\text{C}$ ($\pm 3,0^\circ\text{F}$). Pressure shall be monitored and recorded daily. If test pressure falls by more than 40 kPa (6 psia) below the required test pressure, the test gas must be replenished.

8.6.7 At the test completion, the test vessel should be purged with inert gas while cooling to ambient temperature before opening. The load should be relaxed before cooling, if possible, when using equipment with external loading.

9 Method A – Tensile test

9.1 Method A, the Tensile Test, provides for evaluating metals for EC resistance under uniaxial tensile loading. It offers a simple unnotched test specimen with a well-defined stress state. EC susceptibility with Method A is usually determined by time-to-failure. Tensile test specimens loaded to a particular stress level give a failure/no-failure test result. When multiple test specimens

tingkat tegangan tertentu memberikan suatu hasil uji yang gagal/tidak gagal. Pada pengujian banyak spesimen pada berbagai tingkat tegangan, tegangan ambang batas aparen untuk EC dapat diperoleh.

9.1.1 Pasal ini mengatur prosedur untuk pengujian pada suhu kamar dan tekanan atmosferik. Pertimbangan khusus untuk pengujian pada suhu dan tekanan lebih tinggi telah diatur dalam Pasal 8.

9.2 Spesimen uji

9.2.1 Ukuran dan bentuk material yang tersedia untuk pengujian sering membatasi pemilihan spesimen uji. Orientasi spesimen uji dapat mempengaruhi hasil dan seyogyanya dicatat.

9.2.2 Bagian gauge dari standar spesimen uji tarik (lihat Gambar 3[a]) harus berdiameter $6,35 \pm 0,13$ mm ($0,250 \pm 0,005$ in.) dengan panjang 25,4 mm (1,00 in.) (lihat ASTM A 370). Sebuah spesimen uji tarik subsize yang berukuran lebih kecil dengan bagian *gauge* berdiameter $3,81 \pm 0,05$ mm ($0,150 \pm 0,002$ inci) dengan panjang 15 mm (0,60 inci) dapat diterima. Setelah pemessinan, spesimen uji tarik seyogyanya disimpan dalam ruangan kelembaban rendah, dalam desikator atau dalam minyak yang tidak terinhibisi hingga siap untuk pengujian.

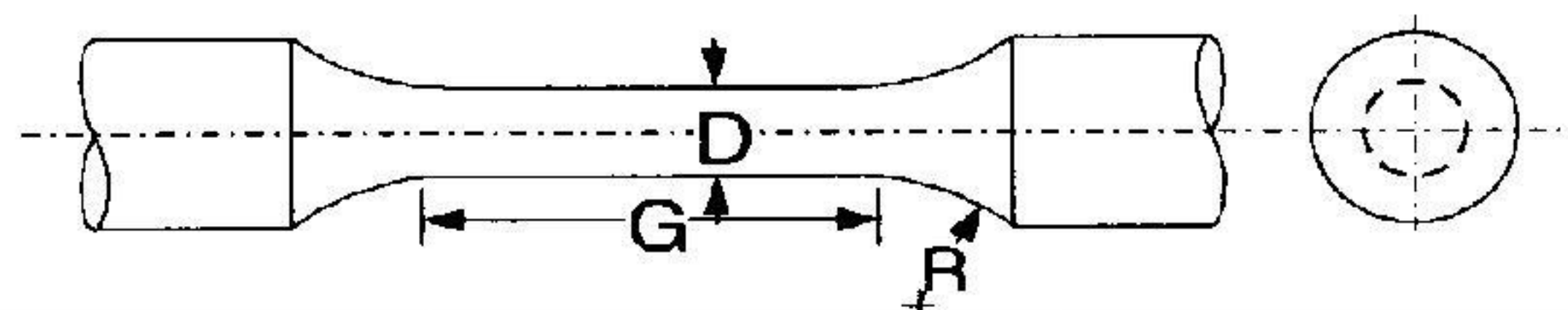
are tested at varying stress levels, an apparent threshold stress for EC can be obtained.

9.1.1 This section sets forth the procedure for testing at room temperature and atmospheric pressure. Special considerations for testing at elevated temperature and pressure are sets forth in Section 8.

9.2 Test specimen

9.2.1 The size and shape of the material available for testing often restricts selection of test specimens. The orientation of the test specimen can affect the results and should be noted.

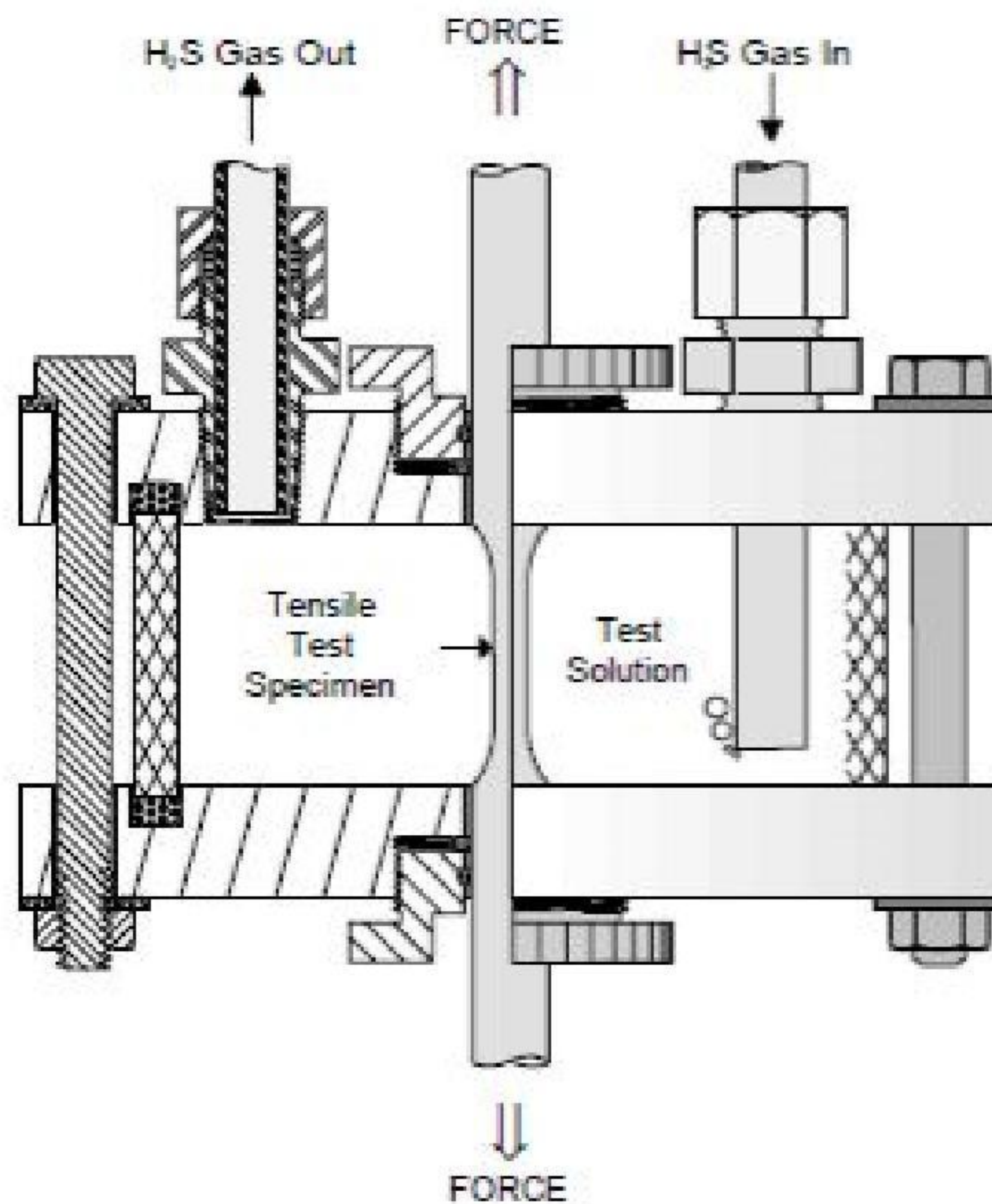
9.2.2 The gauge section of the standard tensile test specimen (see Figure 3[a]) shall be $6,35 \pm 0,13$ mm ($0,250 \pm 0,005$ in.) in diameter by 25,4 mm (1,00 in.) long (see ASTM A 370). A subsize tensile test specimen with gauge section of $3,81 \pm 0,05$ mm ($0,150 \pm 0,002$ in.) in diameter by 15 mm (0,60 in.) long is acceptable. After machining, tensile test specimens should be stored in a low-humidity area, in a tubular or in uninhibited oil until ready for testing.



Dimension	Standard specimen	Subsize specimen
D	$6,35 \pm 0,13$ mm) ($0,250 \pm 0,005$ inci)	$3,81 \pm 0,05$ mm ($0,150 \pm 0,002$ inci)
G	25,4 mm (1,00 inci)	25.4 mm (1,00 inci)
R (min.)	15 mm (0,60 inci)	15 mm (0,60 inci)

(a) Dimensi spesimen uji tarik

(a) Dimensions of the tensile test specimens



(b) Spesimen uji tarik di dalam sebuah ruangan yang lingkungannya terkondisikan

(b) Tensile test specimens in an environmental chamber

Gambar 3 - Spesimen uji tarik

Figure 3 - Tensile test specimens

9.2.3 Jari-jari lengkungan pada ujung bagian *gauge* harus sekurang-kurangnya 15 mm (0,60 inci) untuk meminimumkan konsentrasi tegangan dan kegagalan sayatan.

9.2.3 The radius of curvature at the ends of the gauge sections shall be at least 15 mm (0,60 in.) to minimize stress concentrations and fillet failures.

9.2.3.1 Metode tambahan yang telah ditemukan berguna dalam mengurangi kegagalan sayatan adalah :

9.2.3.1 Additional methods that have been found helpful in reducing fillet failures are to

1) Meniadakan “*undercutting*” jari-jari sayatan pada spesimen uji yang mengalami pemesinan; dan

1) Eliminate undercutting of fillet radii in machined test specimens; and

2) Melakukan pemesinan bagian *gauge* spesimen uji sedikit tirus (0,05- hingga 0,13- mm [0,002- hingga 0,005- inci]) yang menghasilkan penampang lintang minimum di tengah bagian *gauge*.

2) Machine the test specimen gauge section with a slight (0,05- to 0,13-mm [0,002- to 0,005-in.]) taper that produces a minimum cross-section in the middle of the gauge section.

9.2.4 Ujung spesimen uji harus cukup panjang untuk mengakomodasi sekat untuk bejana uji dan menghubungkan dengan alat pemegang untuk penegang. (Lihat Gambar 3[b].)

9.2.5 Spesimen uji harus dimesin atau digerinda dengan hati-hati untuk menghindari pemanasan berlebihan dan pengerjaan dingin pada bagian *gauge*. Pada operasi pemesian, dua pas terakhir seyogyanya menghilangkan tidak lebih dari 0,05 mm (0,002 inci) material. Penggerindaan juga dapat diterima jika proses penggerindaannya tidak mengeraskan material.

9.2.6 Untuk semua material penyelesaian permukaan akhir harus 0,81 μm (32 μin) atau lebih halus. Penyelesaian permukaan akhir mungkin diperoleh dengan pemolesan mekanik atau elektropleasing jika persyaratan kekasaran terpenuhi. Penggunaan proses penyelesaian lainnya selain penggerindaan harus dilaporkan bersamaan dengan data. Bila dilakukan elektropleasing, kondisi penangas harus sedemikian sehingga spesimen uji tidak menyerap hidrogen selama pengerjaan.

9.2.7 Bila spesimen uji tarik standar tidak dapat diperoleh dari material karena ukuran atau bentuknya, spesimen uji tarik dengan ukuran lebih kecil yang memadai boleh digunakan, namun demikian, specimen uji tarik dengan ukuran yang lebih kecil dapat menghasilkan waktu kegagalan yang lebih pendek dari pada spesimen uji tarik ukuran standar yang diobservasi. Pelaporan data uji yang menggunakan spesimen uji tarik dengan ukuran yang lebih kecil harus dinyatakan dengan jelas maksud penggunaan dan ukuran specimen uji yang lebih kecil.

9.2.8 Identifikasi spesimen uji

Pemarkaan atau penstensilan getar dapat digunakan pada ujung spesimen uji tetapi tidak di bagian *gauge*.

9.2.4 The ends of the test specimen must be long enough to accommodate seals for the test vessel and to make connections to the stressing fixture. (See Figure 3[b].)

9.2.5 The test specimen must be machined or ground carefully to avoid overheating and cold working in the gauge section. In machining operations, the final two passes should remove no more than a total of 0,05 mm (0,002 in.) of material. Grinding is also acceptable if the grinding process does not harden the material.

9.2.6 For all materials the final surface finish shall be 0,81 μm (32 μin .) or finer. Final surface finish may be obtained by mechanical polishing or electropolishing if the roughness requirement is met. Using any finishing process other than grinding must be reported with the test data. When electropolishing, bath conditions must be such that the test specimen does not absorb hydrogen during the procedure.

9.2.7 When the standard tensile test specimen cannot be obtained from the material because of its size or shape, an appropriate subsize tensile test specimen may be used. However, subsize tensile test specimens can produce shorter failure times than those observed for standard tensile test specimens. The report of test data using subsize tensile test specimens shall clearly state the use and size of subsize test specimens.

9.2.8 Test specimen identification

Stamping or vibratory stenciling may be used on the ends of the test specimen but not in the gauge section.

9.2.9 Pembersihan spesimen uji

9.2.9.1 Sebelum pengujian, spesimen uji harus dibersihkan dari lemak dengan pelarut dan dibilas dengan aseton.

9.2.9.2 Bagian gauge dari spesimen uji harus tidak dipegang atau terkontaminasi setelah pembersihan.

9.3 Larutan uji (Untuk Metoda A) – Lihat Bagian 7.

9.4 Peralatan uji

9.4.1 Banyak tipe pemegang alat penegang dan bejana uji yang digunakan untuk pengujian korosi tegangan dapat diterima untuk Metode A. Konsekuensinya, diskusi berikut menekankan karakteristik peralatan uji yang dibutuhkan untuk pemilihan item-item dan prosedur yang cocok.

9.4.2 Uji tarik seyogyanya dilaksanakan dengan alat pembeban konstan atau alat pembeban tetap (*proof ring* atau pembebanan pegas) (lihat ASTM G 49).

9.4.2.1 Semua alat pembeban harus dikalibrasi untuk meyakinkan akurasi pemakaian beban pada spesimen uji. Kesalahan pembebanan dalam rentang kalibrasi dari alat pembebanan harus tidak boleh melebihi 1,0% dari beban yang digunakan untuk kalibrasi.

9.4.2.2 Alat pembebanan harus dibuat sedemikian untuk mencegah beban torsional

9.4.3 Jika material rentan diuji menggunakan alat pembeban tetap, hal ini memungkinkan untuk menginisiasi dan mempropagasi sebagian retakan saja, tidak seluruhnya, melalui spesimen uji (lihat butir 9.7). Konsekuensinya, penentuan kerentanan dari hasil uji beban tetap membutuhkan pengamatan visual dari spesimen uji untuk adanya alur retakan. Penentuannya mungkin sulit jika retakan kecil dan jarang atau jika tertutup oleh deposit korosi. Walaupun demikian, pengujian dengan peralatan beban konstan menjamin bahwa material yang rentan

9.2.9 Test specimen cleaning

9.2.9.1 Before testing, test specimens shall be degreased with solvent and rinsed with acetone.

9.2.9.2 The gauge section of the test specimen shall not be handled or contaminated after cleaning.

9.3 Test solution (for Method A)—see Section 7.

9.4 Test equipment

9.4.1 Many types of stress fixtures and test vessels used for stress corrosion testing are acceptable for Method A. Consequently, the following discussion emphasizes the test equipment characteristics required for selecting suitable items and procedures.

9.4.2 Tensile tests should be performed with constant-load devices or sustained-load (*proof ring* or spring-loaded) devices (see ASTM G 49).

9.4.2.1 All loading devices shall be calibrated to ensure accurate application of load to the test specimen. The error for loads within the calibration range of the loading device shall not exceed 1,0% of the calibration load.

9.4.2.2 The loading device shall be constructed to avoid torsional loads.

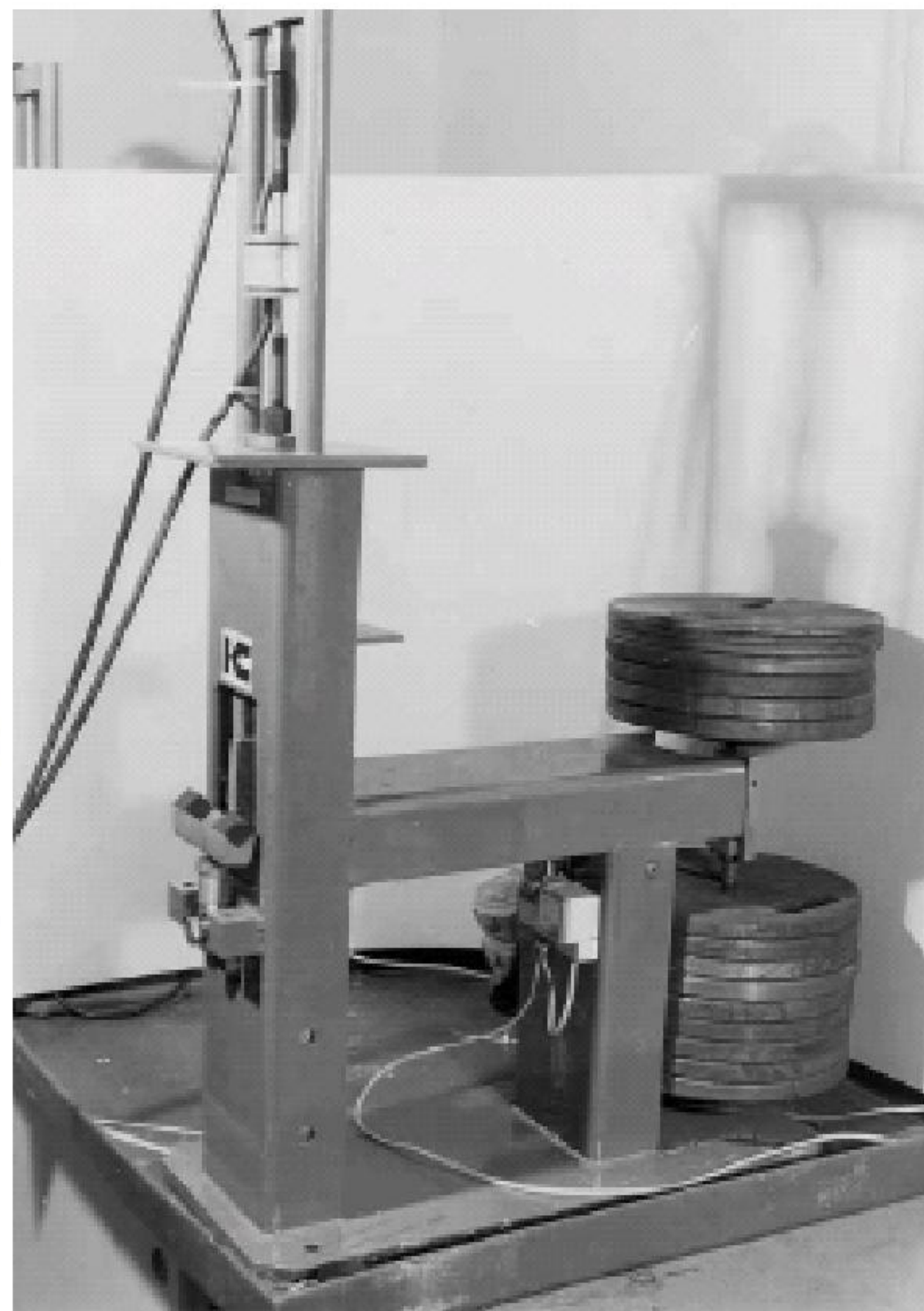
9.4.3 When susceptible materials are tested using sustained-load devices, it is possible for cracks to initiate and propagate only partially, not fully, through the test specimen (see Paragraph 9.7). Consequently, susceptibility determination from sustained-load test results requires the visual examination of the test specimens for the presence of part-through cracks. The determination may be difficult if the cracks are small and sparse or if obscured by corrosion deposits. However, testing with constant-load devices ensures that susceptible

akan putus. Hasil ini mengidentifikasi dengan jelas kerentanan material dan tidak bergantung pada temuan alur retakan.

9.4.4 Alat uji *dead weight* yang mampu menjaga tekanan konstan pada sel hidrolik dapat digunakan untuk pengujian beban konstan (lihat Gambar 4)

materials will separate completely. This result clearly identifies the material as susceptible and does not rely on finding part-through cracks.

9.4.4 Dead-weight testers capable of maintaining constant pressure on a hydraulic cell may be used for constant-load testing (see Figure 4).



Gambar 4 – Alat beban konstan (dead weight)

Figure 4 – Constant-load (dead weight) device

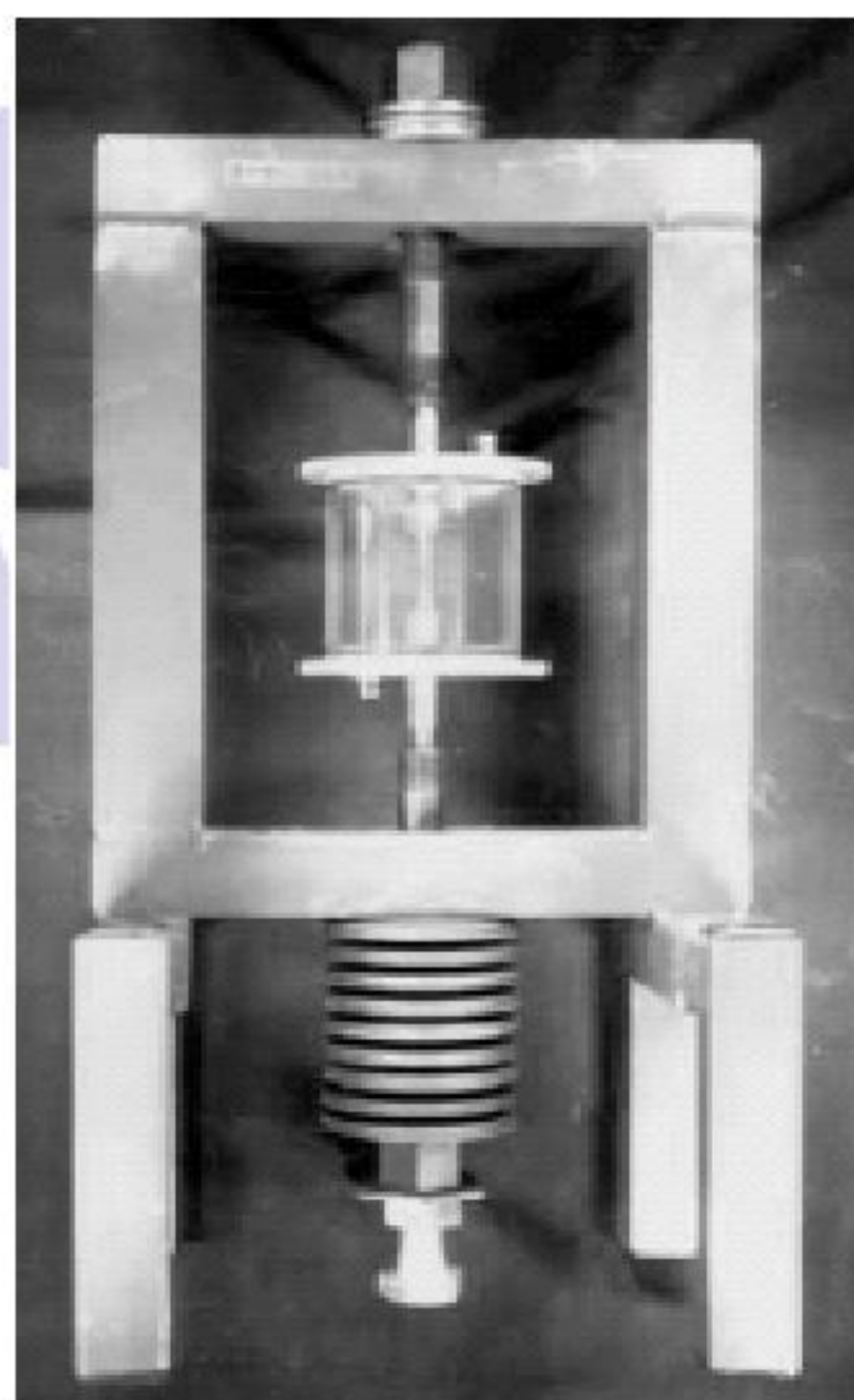
9.4.5 Uji beban tetap dapat dilakukan dengan menggunakan alat pembebanan pegas dan proof ring saat relaksasi pada pemegang atau spesimen uji hanya akan menghasilkan penurunan persentase yang kecil dari beban yang diberikan (lihat Gambar 5).

8.4.5 Sustained-load tests can be conducted with spring-loaded devices and proof rings when relaxation in the fixtures or test specimen will result in only a small percentage decrease in the applied load (see Figure 5).



(a) Proof ring

(a) Proof ring



(b) Spring-loaded

(b) Spring-loaded

Gambar 5 - Alat Beban Berkelanjutan

Figure 5 - Sustained-load devices

9.4.5.1 Pada penggunaan *proof ring*, prosedur berikut ini diperlukan:

9.4.5.1.1 Sebelum kalibrasi, *proof ring* seharusnya diprakondisikan dengan memberikan tegangan sekurang-kurangnya sepuluh kali sampai 110% beban maksimum yang diijinkan dari *proof ring*.

9.4.5.1 In using proof rings, the following procedures are required:

9.4.5.1.1 Before calibration, proof rings shall be preconditioned by stressing at least 10 times to 110% of maximum load rating of the proof ring.

9.4.5.1.2 Beban pada spesimen uji tarik harus berada dalam rentang beban *proof ring*. Dengan demikian, *proof ring* harus diseleksi sehingga beban yang diberikan akan menghasilkan defleksi cincin lebih dari 0,6% dari diameter cincin tetapi tidak kurang dari 0,51 mm (0,020 inci). Jika kurang dari 0,51 mm (0,020 inci) atau kurang dari 0,6% dari diameter cincin, defleksi kalibrasi, beban kalibrasi, dan beban uji harus dispesifikasikan.

9.4.5.2 Suatu penurunan yang besar pada defleksi *proof ring* dapat menandakan :

- (a) Inisiasi dan propagasi retakan-retakan pada spesimen uji;
- (b) Peluluhan spesimen uji; atau
- (c) Relaksasi tegangan

Defleksi *proof ring* seyogyanya diukur selama pengujian atau saat selesai pengujian.

9.4.5.3 Defleksi seyogyanya dimonitor bila tegangan yang diberikan dalam batas 10% kekuatan luluh material.

9.4.6 Spesimen uji harus diisolasi listrik terhadap logam lainnya yang kontak dengan larutan uji.

9.4.6.1 Penyekat tertutup sekeliling spesimen uji harus diisolasi listrik dan kedap udara tetapi seyogianya memungkinkan pergerakan spesimen uji dengan friksi yang dapat diabaikan.

9.4.6.2 Pada kasus dimana seluruh alat pemegang dapat dicelupkan ke dalam larutan uji, pemegang dapat dibuat dari material yang sama, atau, jika dibuat dari material yang berbeda, harus diisolasi listrik terhadap spesimen uji. Pemegang alat penegang dapat dilapisi dengan lapisan yang lapisan impermeabel nonkonduktif, jika dikehendaki.

9.4.7 Bejana uji harus dibuat dengan ukuran sedemikian untuk mempertahankan volume larutan uji 30 ± 10 mL/cm² luas permukaan spesimen uji.

9.4.5.1.2 The load on the tensile test specimen shall lie within the load range of the proof ring. Accordingly, proof rings shall be selected so that the applied load will produce a ring deflection of more than 0,6% of the ring diameter but not less than 0,51 mm (0,020 in.). If it is less than 0,51 mm (0,020 in.) or less than 0,6% of the ring diameter, the calibration deflection, calibration load, and test load must be specified.

9.4.5.2 A substantial decrease in the proof ring deflection may signify:

- (a) the initiation and propagation of cracks in the test specimen;
- (b) yielding of the test specimen; or
- (c) relaxation of stress.

The proof ring deflection should be measured during the test or at the test completion.

9.4.5.3 The deflection should be monitored when the applied stress is within 10% of the material yield strength.

9.4.6 The test specimen must be electrically isolated from any other metals in contact with the test solution.

9.4.6.1 The seals around the test specimen must be electrically isolating and airtight but should allow movement of the test specimen with negligible friction.

9.4.6.2 In cases in which the complete test fixture can be immersed in a test solution, the stressing fixture may be made of the same material, or, if it is made of a different material, it must be electrically isolated from the test specimen. The stressing fixture may be coated with a nonconductive impermeable coating, if desired.

9.4.7 The test vessel shall be sized to maintain a test solution volume of 30 ± 10 mL/cm² of test specimen surface area.

9.5 Perhitungan tegangan

9.5.1 Beban untuk menegangkan spesimen uji tarik harus ditentukan dengan persamaan (2) :

$$P = S \times A \quad (2)$$

Keterangan

P = beban

S = tegangan yang diberikan; dan

A = luas penampang lintang aktual dari bagian *gauge*.

9.6 Tahapan uji

9.6.1 Diameter *gauge* minimum spesimen uji tarik harus diukur, dan pembebanan spesimen uji tarik harus dihitung untuk tingkat tegangan yang diinginkan.

9.6.2 Spesimen uji tarik harus dibersihkan dan diletakkan ke dalam bejana uji, dan bejana uji harus disekat untuk mencegah masuknya udara ke dalam bejana selama pengujian.

9.6.3 Beban dapat diberikan sebelum atau sesudah bejana uji dibersihkan dengan mengalirkan gas lembam.

9.6.3.1 Spesimen uji tarik boleh ditegangkan sedikit di atas kekuatan luluh atau beban yang sesuai.

9.6.4 Beban seyogyanya diberikan dengan hati-hati untuk menghindari kelebihan dari nilai yang diinginkan. Jika beban yang diinginkan melebihi, pengujian harus dilakukan pada beban baru atau dibatalkan.

9.6.5 Bejana uji harus segera diisi dengan larutan uji yang dideaerasi sedemikian sehingga antarmuka larutan/gas tidak kontak dengan bagian *gauge* spesimen uji. Larutan yang harus dideaerasi secara menyeluruh dengan salah satu metode alternatif berikut untuk meyakinkan bahwa

9.5 Stress calculations

9.5.1 Loads for stressing tensile test specimens shall be determined from Equation (2):

where

P = load;

S = applied stress; and

A = actual cross-sectional area of the gauge section.

9.6 Testing sequence

9.6.1 The minimum gauge diameter of the tensile test specimen shall be measured, and the tensile test specimen load shall be calculated for the desired stress level.

9.6.2 The tensile test specimen shall be cleaned and placed in the test vessel, and the test vessel shall be sealed to prevent air leaks into the vessel during the test.

9.6.3 The load may be applied before or after the test vessel is purged with inert gas.

9.6.3.1 Tensile test specimens may be stressed at convenient increments of the yield strength or load.

9.6.4 The load should be carefully applied to avoid exceeding the desired value. If the desired load is exceeded, the test shall be run at the new load or discarded.

9.6.5 The test vessel shall immediately be filled with test solution such that the test specimen gauge section is fully immersed in the test solution. The test solution shall be completely deaerated by one of the following alternate methods to ensure that the test solution is oxygen-

larutan uji bebas oksigen sebelum dialirkan H_2S (Lihat Lampiran B)

(a) Larutan uji boleh didaerasi dalam bejana uji dengan mengalirkan gas inert dengan kecepatan sekurang-kurangnya 100 mL/menit selama sekurang-kurangnya 1 jam.

(b) Larutan uji sebelumnya dapat didaerasi dalam bejana tertutup dengan mengalirkan gas inert kecepatan sekurang-kurangnya 100 mL/menit sekurang-kurangnya 1 jam/L dari larutan uji. Setelah larutan uji yang sebelumnya didaerasi dialirkan ke dalam bejana uji, harus dibersihkan dengan gas inert sekurang-kurangnya 20 menit setelah bejana uji ditutup.

(c) Metode daerasi lainnya dan pengaliran dapat digunakan jika hasilnya larutan uji terdaerasi secara menyeluruh sebelum pengaliran H_2S .

9.6.6 Larutan uji kemudian harus dijenuhkan dengan H_2S , dengan laju sekurang-kurangnya 100 mL/menit selama 20 menit/L dari larutan uji. Suatu aliran H_2S yang kontinu melalui bejana uji dan jalan keluar yang dilengkapi perangkat gas harus dipertahankan selama pengujian pada laju aliran yang rendah (beberapa gelembung per menit). Hal ini mempertahankan konsentrasi H_2S dan sedikit tekanan positif untuk mencegah udara masuk ke dalam bejana uji melalui kebocoran kecil.

9.6.6.1 Kontaminasi oksigen ditandai oleh adanya penampakan kabut (keruh) dalam larutan uji saat gas H_2S masuk ke bejana uji. Adanya pengkeruhan dalam larutan uji pada saat gas H_2S masuk pengujian harus membatalkan pengujian. Spesimen uji harus dipindahkan dan dibersihkan, dan larutan uji dibuat kembali, dipindahkan, dan prosedur daerasi diulang.

9.6.7 Penghentian pengujian harus pada saat spesimen uji tarik gagal atau setelah 720 jam, yang mana saja yang terjadi lebih dahulu.

9.6.8 Bila diperlukan, spesimen uji tarik tambahan harus diuji untuk menentukan

free before introducing H_2S (see Appendix B).

(a) The test solution may be deaerated within the test vessel by purging with inert gas at a rate of at least 100 mL/min for at least one hour.

(b) The test solution may be previously deaerated in a sealed vessel that is purged with inert gas at a rate of at least 100 mL/min for at least 1 h/L of test solution. After this previously deaerated test solution is transferred into the test vessel, it shall be purged with inert gas for at least 20 min after sealing the test vessel.

(c) Other methods of deaeration and transfer may be used if they result in a completely deaerated test solution before H_2S introduction.

9.6.6 The test solution shall then be saturated with H_2S at a rate of at least 100 mL/min for at least 20 min/L of test solution. A continuous flow of H_2S through the test vessel and outlet trap shall be maintained for the duration of the test at a low flow rate (a few bubbles per min). This maintains the H_2S concentration and a slight positive pressure to prevent air from entering the test vessel through small leaks.

9.6.6.1 Oxygen contamination is evident by a cloudy (opaque) appearance of the test solution when the H_2S gas enters the test vessel. An opaque appearance of the test solution upon H_2S entry shall disqualify the test. The test specimen shall be removed and cleaned, and the test solution makeup, transfer, and deaeration procedure repeated.

9.6.7 The termination of the test shall be at tensile test specimen failure or after 720 hours, whichever occurs first.

9.6.8 When needed, additional tensile test specimens shall be tested to

secara teliti tegangan tidak-gagal.

9.7 Deteksi kegagalan

Setelah pemaparan, permukaan dari bagian gauge spesimen uji tarik tidak-gagal harus dibersihkan dan diperiksa untuk pembuktian adanya retakan. Spesimen uji tarik yang mengandung retakan tersebut harus dicatat.

9.7.1 Untuk semua material, kegagalan dapat berupa :

- a) Putus sempurna spesimen uji tarik; atau
- b) Pengamatan visual dari retakan pada bagian gauge spesimen uji tarik pada pembesaran 10X setelah lama pengujian 720 jam selesai. Teknik investigasi dengan menggunakan pengujian metalografi, scanning micro kopi, atau mekanik dapat digunakan untuk menentukan apakah retakan pada bagian gauge membuktikan adanya EC. Jika dibuktikan bahwa retakan tersebut bukan EC, maka spesimen uji tarik tersebut dinyatakan lulus uji.

9.7.2 Waktu terhadap kegagalan harus dicatat menggunakan pengukur dan microswitch elektrik.

9.8 Pelaporan hasil uji

9.8.1 Data waktu-sampai-gagal atau tidak-gagal atau pengamatan visual retakan permukaan pada akhir uji harus dilaporkan untuk setiap tingkat tegangan.

9.8.2 Komposisi kimia, perlakuan panas, sifat mekanik, informasi lain yang telah dispesifikasikan di atas, dan data yang diambil harus dilaporkan.

Tabel 1 memperlihatkan suatu format yang direkomendasikan untuk pelaporan data. Data dapat juga disajikan pada kertas grafik semilog (lihat Gambar 6).

define closely the no-failure stress.

9.7 Failure detection

Following exposure, the surfaces of the gauge section of the nonfailed tensile test specimens shall be cleaned and inspected for evidence of cracking. Those tensile test specimens containing cracks shall be noted.

9.7.1 For all materials, failure is either:

- a) Complete separation of the tensile test specimen; or
- b) Visual observation of cracks on the gauge section of the tensile test specimen at 10X after completing the 720-hour test duration. Investigative techniques employing metallography, scanning microscopy, or mechanical testing may be used to determine whether cracks on the gauge section are evidence of EC. If it is verified that the cracks are not EC, then the tensile test specimens passes the test.

9.7.2 Time-to-failure shall be recorded using electrical timers and microswitches.

9.8 Reporting of test results

9.8.1 Time-to-failure or no-failure data or the visual observation of surface cracks at the end of the test shall be reported for each stress level.

9.8.2 The chemical composition, heat treatment, mechanical properties, other information specified above, and data taken shall be reported.

9.8.3 Table 1 shows the recommended format for reporting the data. Data may also be presented on semilog graph paper (see Figure 6).

10 Metode B – Uji tekuk-batang

10.1 Metode B, uji tekuk-batang, menyajikan pengujian baja karbon dan paduan rendah yang dikenakan tegangan tarik untuk mengevaluasi ketahanan terhadap kegagalan akibat (penjalaran) retakan pada lingkungan aqueous dengan pH rendah yang mengandung H₂S. Uji ini mengevaluasi kerentanan terhadap EC dari material ini dengan adanya konsentrasi tegangan. Ukuran yang kompak dari spesimen uji tekuk-batang memudahkan pengujian material yang kecil, yang terlokalisir dan tipis. Spesimen uji tekuk-batang yang dibebani hingga suatu tingkat defleksi tertentu memberikan hasil pengujian gagal / tidak gagal. Bila pengujian dengan spesimen uji pada berbagai tingkat defleksi, secara statistik didasarkan pada faktor tegangan kritis (Sc) untuk 50% kemungkinan kegagalan dapat dicapai. NaCl tidak ditambahkan ke dalam larutan uji untuk metode uji ini. Data uji laboratorium untuk baja karbon dan paduan rendah telah didapatkan berkorelasi dengan data lapangan.

10.1.1 Bagian ini mengatur prosedur untuk pengujian lengkung-batang pada suhu kamar dan tekanan atmosfer. Pertimbangan khusus untuk pengujian pada suhu dan tekanan lebih tinggi diatur pada Bagian 8.

10.1.2 Metode B dapat disarikan sebagai berikut:

10.1.2.1 Metode ini meliputi pendefleksian setiap spesimen uji dalam satu rangkaian dengan memberikan tegangan tekuk yang berbeda. Spesimen uji yang ditegangkan kemudian dipaparkan ke lingkungan uji dan kegagalan (atau ketidakgagalan) oleh peretakan ditentukan. Dari data yang diperoleh dengan pengujian spesimen uji multipel pada defleksi yang bervariasi, secara statistik didasarkan Sc untuk 50% kemungkinan kegagalan dihitung untuk mengindikasikan ketahanan material terhadap SSC.

10.1.2.2 Metode ini merupakan suatu uji dengan defleksi konstan dari spesimen uji tinggi. Tegangan yang dihitung disebut

10 Method B – Bent-beam test

10.1 Method B, the bent-beam test, provides for testing carbon and low-alloy steels subjected to tensile stress to evaluate resistance to cracking failure in low-pH aqueous environments containing H₂S. It evaluates EC susceptibility of these materials in the presence of a stress concentration. The compact size of the bent-beam test specimen facilitates testing small, localized areas and thin materials. Bent-beam test specimens loaded to a particular deflection give a failure/no-failure test result. When testing multiple test specimens at varying deflections, a statistically based critical stress factor (Sc) for a 50% probability of failure can be obtained. NaCl is not added to the test solution for this test method. Laboratory test data for carbon and low-alloy steels have been found to correlate with field data.

10.1.1 This section sets forth the procedure for bent-beam testing at room temperature and atmospheric pressure. Special considerations for testing at elevated temperature and pressure are sets forth in Section 8.

10.1.2 Method B can be summarized as follows:

10.1.2.1 This method involves deflecting each test specimen in a series by applying a different bending stress. The stressed test specimens then are exposed to the test environment, and the failure (or no-failure) by cracking is determined. From these data obtained by testing multiple test specimens at varying deflections, a statistically based Sc for a 50% probability of failure is calculated to indicate the material's resistance to SSC.

10.1.2.2 This method constitutes a constant-deflection test of high test specimen compliance. The computed

suatu tegangan semu karena tidak mencerminkan :

- a) Tegangan aktual atau distribusi tegangan dalam spesimen uji;
- b) Penyimpangan dari elastisitas yang berhubungan dengan deformasi plastis; atau
- c) Penurunan tegangan pada spesimen uji pada saat pertumbuhan sebuah retakan atau retakan-retakan.

Konsekuensinya, metode ini tidak sesuai untuk penentuan tegangan ambang batas.

stress is called a pseudo-stress because it does not reflect:

- a) Actual stress or stress distribution in the test specimen;
- b) Deviation from elasticity associated with plastic deformation; or
- c) Decrease in stress in the test specimen as a crack or cracks grow.

Consequently, this method is not suitable for determination of threshold stress.



Tabel 1 - Formulir laporan hasil pengujian material yang seragam (Bagian 1): Pengujian Metode A – Uji tarik

Table 1 - Uniform material testing report form (Part 1): Testing Method A – Tensile Test

Submitting Company	_____	Submittal Date	_____
Submitted by	_____	Telephone No.	_____
Alloy Designation	_____	Testing Lab	_____
		General Material Type	_____

Chemistry	Heat Number/Identification					
C Mn Si P S Ni Cr Mo V Al Ti Nb N Cu Other						
Material Processing History Melt Practice (e.g., OH, BOF, EF, AOD) [©]						
Product Form						
Heat Treatment (Specify time, temperature, and cooling mode for Each cycle in process.)						
Other Mechanical, Thermal, Chemical, or Coating Treatment [©]						

^(A) Test method must be fully described if not in accordance with TM0177-96.

^(B) Melt practice: Open-heart (OH), Basic oxygen furnace (BOF), Electric furnace (EF), Argon-oxygen decarburization (AOD).

[©] E.g., cold work, plating, nitriding, prestrain

Tabel 1 - Formulir laporan hasil pengujian material yang seragam (Bagian 2): Pengujian Metode A – Uji tarik	Table 1- Uniform material testing report form (Part 2): Testing Method A – Tensile test
--	--

Lab Data for Material

Test specimen Geometry : ☐ Standard ☐ Nonstandard Nominal Diameter _____ Gauge Length _____

Constant Load _____ ☐ Dead Weight ☐ Hydraulic ☐ Other : _____

Sustained Load _____ ☐ Proof Ring ☐ Spring ☐ Other : _____

☐ Post-Test Proof Ring Deflection Measurement

Chemistry : ☐ Test Solution A ☐ Test Solution B ☐ Other Test Solution _____

☐ Outlet Trap to Exclude Oxygen ☐ Temperature Maintained $24^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($75^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{F}$) ☐ Temperature Maintained _____ $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}\text{F}$)

Tasted per NACE TM0177-96^(A)

Material Identification	Test Specimen Properties							Test Stress (% of Yield Strength)								Solution pH ^(E)		Applied Heat Treatment	Remarks (Including Surface Condition and H ₂ S Level)
	L ^(B) Location	O ^(C) Orientation	YS ^(D) Yield strength	UT Tensile strength	El Elongation	R Reduction of area	H Hardness									Start	Finish		
			()	()	(%)	(%)	()												

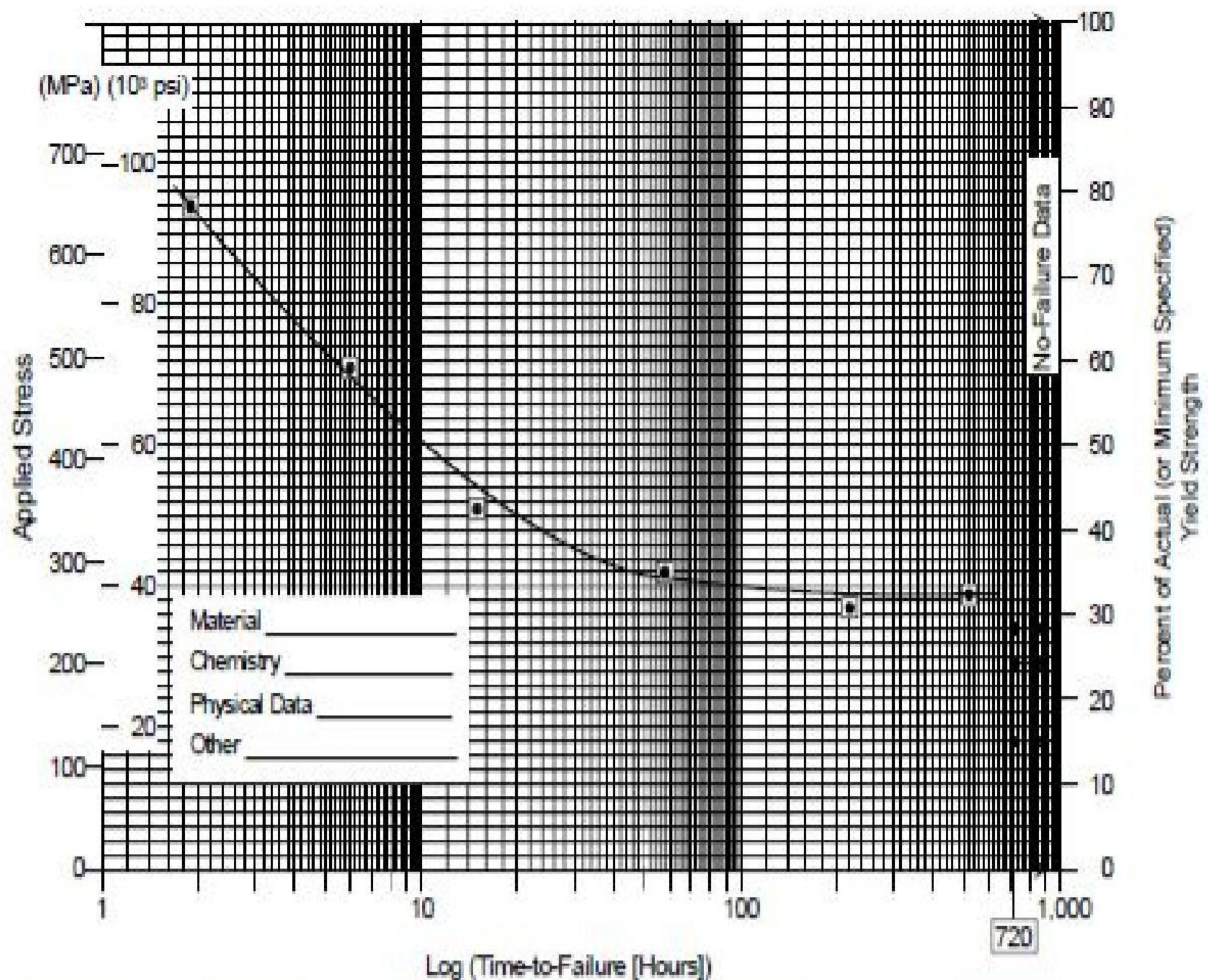
(A) Test method must be fully described if not in accordance with NACE TM0177-96.

(B) Location of test specimen from test piece may be: ☐ tubular – outside diameter (OD), midwall (MW), or inside diameter (ID); solids – surface (S), quarter – midradius (MR), center (C).

(C) Orientation may be longitudinal (L) or transverse (T).

(D) Open parentheses must be filled with metric or English units, as appropriate to the data. Yield strength is assumed to be 0.2% offset unless otherwise noted.

(E) Enter pH for test conducted on nonfailed specimen at highest stress if summarizing data.



Gambar 6 - Tegangan teraplikasi vs. Log (Time-to-Failure)

Figure 6 - Applied stress vs. Log (Time-to-Failure)

10.2 Spesimen uji

10.2.1 Dimensi standar spesimen uji tekuk-batang harus mempunyai lebar $4,57 \pm 0,13$ mm ($0,180 \pm 0,005$ inci), tebal $1,52 \pm 0,13$ mm ($0,060 \pm 0,005$ inci), dan panjang $67,3 \pm 1,3$ mm ($2,65 \pm 0,05$ inci) (lihat Gambar 7). Setelah pemessinan, spesimen uji seyogyanya disimpan dalam ruangan kelembaban rendah, dalam sebuah desikator atau dalam minyak yang tidak diinhibisi hingga siap untuk pengujian.

10.2.2 Umumnya, 12 hingga 16 spesimen uji seyogyanya diambil dari sampel yang diberikan untuk menentukan kerentanan material.

Orientasi dan lokasi dari spesimen uji yang berkenaan dengan material aslinya harus dilaporkan bersamaan dengan hasil uji.

10.2 Test specimen

10.2.1 The dimensions of the standard bent-beam test specimen shall be $4,57 \pm 0,13$ mm ($0,180 \pm 0,005$ in.) wide, $1,52 \pm 0,13$ mm ($0,060 \pm 0,005$ in.) thick, and $67,3 \pm 1,3$ mm ($2,65 \pm 0,05$ in.) long (see Figure 7). After machining, test specimens should be stored in a low-humidity area, in a desiccator or in uninhibited oil until ready for testing.

10.2.2 Generally, 12 to 16 test specimens should be taken from a given sample to determine susceptibility of the material.

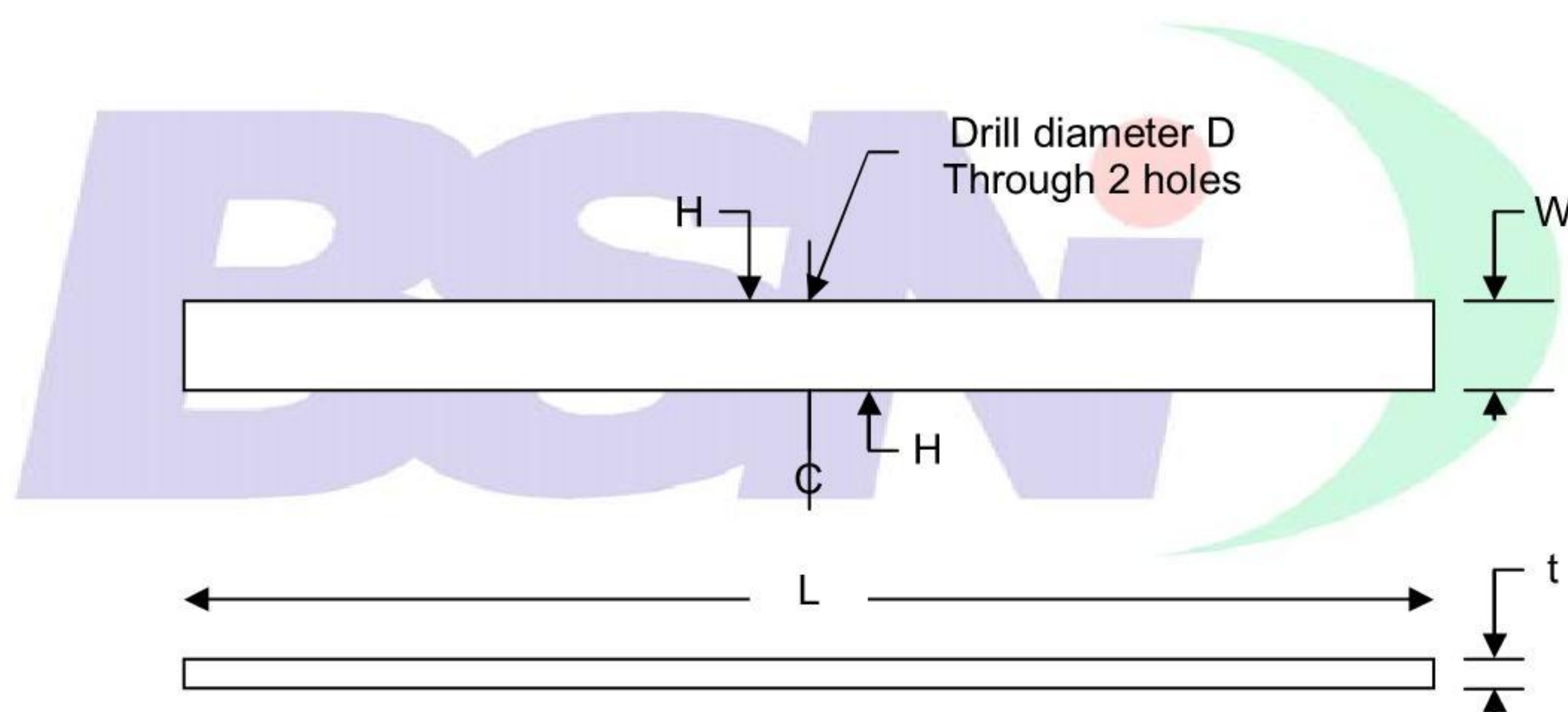
The orientation and location of the test specimen with respect to the original material must be reported with the test results.

10.2.3 Spesimen uji seyogyanya dicanai hingga suatu ukuran yang mendekati dan kemudian permukaannya digerinda hingga dimensi-dimensi akhir. Dua pas terakhir pada setiap sisinya harus dibatasi hanya pembuangan 0,013 mm (0,000 50 inci) tiap pasnya (harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah pemanasan yang berlebihan). Kekasaran permukaan akhir harus 0,81 μm (32 μinci) atau lebih halus.

10.2.4 Seperti diperlihatkan pada Gambar 7, dua lubang dengan diameter 0,71 mm (0,028 inci) (mata bor No.70) harus dibor pada pertengahan ke arah panjang dari spesimen uji, yang dipusatkan pada 1,59 mm (0,062 5 inci) dari tiap ujung sisi. Lubang-lubang harus dibor sebelum pemesinan permukaan akhir.

10.2.3 The test specimens should be milled to an approximate size and then surface ground to final dimensions. The last two passes on either side shall be restricted to removal of 0,013 mm (0,000 50 in.) per pass (care must be taken to prevent overheating). The final surface roughness must be 0,81 μm (32 $\mu\text{ in.}$) or finer.

10.2.4 As shown in Figure 7, two 0.71-mm (0,028 in.) diameter holes (No. 70 drill bit) must be drilled at the midlength of the test specimen, centered 1,59 mm (0,062 5 in.) from each side edge. Holes shall be drilled before machining the final surface.



Dimension	Size	
	(mm)	(in.)
L	67,3 \pm 1.3	2,65 \pm 0,005
t	1,52 \pm 0,13	0,060 \pm 0,005
W	4,57 \pm 0,13	0,180 \pm 0,005
H	1,59	0,0625
D	0,71	0,028 (No. 70 Drill)

Gambar 7 - Penggambaran dimensi dari spesimen uji tekuk batang standar
Dimensional

Figure 7 - Drawing of the standard bent-beam test specimen

10.2.5 Identifikasi spesimen uji

Spesimen uji dapat ditandai dengan marka atau distensil getar dalam suatu daerah 13 mm (0,50 inci) pada salah satu ujung sisi

10.2.5 Test specimen identification

The test specimens may be stamped or vibratory stenciled in a region within 13 mm (0.50 in.) of either end on the

kompresi.

10.2.6 Pembersihan spesimen uji

10.2.6.1 Permukaan dan ujung spesimen uji harus diampelas dengan tangan di atas kertas ampelas grit 240 dengan goresan paralel terhadap sumbu spesimen uji.

10.2.6.2 Spesimen uji harus dibersihkan dari lemak dengan pelarut dan dibilas dengan aseton.

10.2.6.3 Bagian spesimen uji yang menerima tegangan tidak boleh dipegang dengan tangan atau terkontaminasi setelah pembersihan.

10.3 Larutan uji

10.3.1 Larutan uji harus terdiri dari 0,5 % berat asam asetat glasial yang dilarutkan dalam air distilasi atau deionisasi. (Sebagai contoh, 5,0 g CH₃COOH dilarutkan dalam 995 g air distilasi atau air deionisasi). NaCl dilarang ditambahkan ke larutan uji.

10.3.2 Penggunaan Larutan Uji A, B dan C dengan metode pengujian ini belum distandarkan.

10.4 Peralatan uji

10.4.1 Banyak tipe dari pemegang penegang dan bejana uji yang digunakan untuk pengujian korosi tegangan dapat diterima untuk metode B. Konsekuensinya, diskusi berikut menekankan karakteristik peralatan uji yang diperlukan untuk menyeleksi item-item dan prosedur yang sesuai.

10.4.2 Uji seyogyanya dilakukan dengan menggunakan penjepit defleksi konstan yang menerapkan tiga titik penekukan pada spesimen uji. (Lihat Gambar 8.)

compression side.

10.2.6 Test specimen cleaning

10.2.6.1 Surfaces and edges of the test specimen shall be ground by hand on 240 grit emery paper with scratches parallel to the test specimen axis.

10.2.6.2 The test specimens shall be degreased with solvent and rinsed with acetone.

10.2.6.3 The stressed section of the test specimen shall not be handled or contaminated after cleaning.

10.3 Test solution

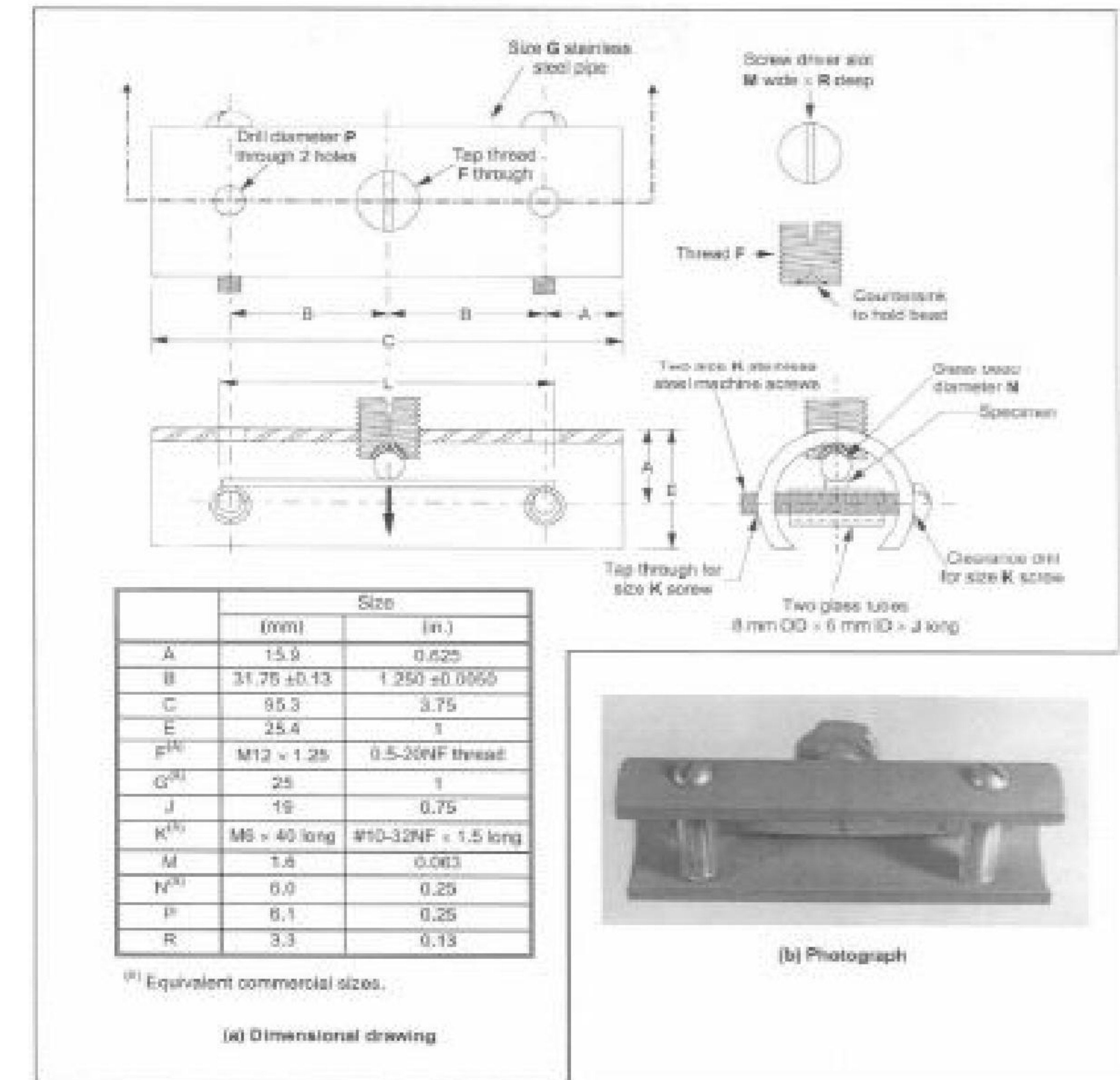
10.3.1 The test solution shall consist of 0,5 wt% glacial acetic acid dissolved in distilled or deionized water (e.g., 5,0 g of CH₃COOH dissolved in 995 g of distilled or deionized water). NaCl shall not be added to the test solution.

10.3.2 Use of Test Solutions A, B and C with this test method has not been standardized.

10.4 Test equipment

10.4.1 Many types of stress fixtures and test vessels used for stress corrosion testing are acceptable for Method B. Consequently, the following discussion emphasizes the test equipment characteristics required for selecting suitable items and procedures.

10.4.2 Tests should be performed using constant-deflection fixtures that employ three-point bending of the test specimen. (See Figure 8.)



Gambar 8 - Alat pemegang tegangan tipikal untuk spesimen uji tekuk batang

Figure 8 - Typical stressing fixture for bent-beam test specimen

10.4.3 Alat pemegang uji yang tercelup dalam larutan uji seyogyanya tahan korosi merata (UNS S31600 umumnya digunakan). Bagian penjepit yang bersentuhan dengan spesimen uji harus diisolasi secara listrik dari spesimen uji.

10.4.3 Test fixtures immersed in a test solution should resist general corrosion (UNS⁽⁴⁾ S31600 is commonly used). Fixture elements contacting the test specimen must be electrically isolated from it.

10.4.4 Pengukur defleksi harus diberi skala dengan ukuran 0,002 5 mm (0,000 10 inci).

10.4.4 Deflection gauges shall be graduated in 0,002 5 mm (0,000 10 in.) divisions.

Defleksi spesimen uji seyogyanya ditentukan dengan pengukur terpisah atau dengan pengukur yang menyatu dalam suatu peralatan pembebanan. Dalam merancang

Test specimen deflection should be determined by separate gauges or by gauges incorporated in a loading fixture. In designing a deflection gauge to suit

suatu pengukur defleksi agar cocok dengan lingkungan individu, defleksi pada pertengahan panjang dari spesimen uji seyogyanya diukur.

10.4.5 Bejana uji

10.4.5.1 Bejana uji harus ukurannya dibuat sedemikian agar dapat menampung volume larutan uji 30 ± 10 ml/cm² luas permukaan specimen uji. Volume maksimum bejana uji seyogyanya 10 L.

10.4.5.2 Bejana uji harus diberi kerangan pada kedua tempat masuk dan keluar untuk mencegah kontaminasi larutan uji dari oksigen.

10.4.5.3 Suatu gelas "fritted" pembuih harus digunakan untuk memasukkan gas lembam dan H₂S di bawah susunan spesimen uji. Gelembung seyogyanya tidak menumbuk spesimen uji.

10.5 Perhitungan defleksi

10.5.1 Suatu tegangan semu perkiraan (S_c) untuk material harus digunakan dalam perhitungan defleksi batang. Untuk baja karbon dan paduan rendah, harga S_c biasanya berada dalam rentang 69 MPa (10⁴ psi) pada 22 hingga 24 HRC. Jika kekerasan meningkat, S_c umumnya menurun.

10.5.2 Rentang harga S_c perkiraan yang dipilih harus digunakan sebagai tegangan semu untuk menghitung defleksi dari spesimen uji.

10.5.3 Defleksi spesimen harus dihitung untuk setiap harga tegangan semu dengan menggunakan persamaan (3):

$$D = \frac{SL^2}{6 Et} \quad (3)$$

Keterangan

D = defleksi

S = tegangan semu fiber luar nominal

individual circumstances, the deflection at midlength of the test specimen should be measured.

10.4.5 Test vessel

10.4.5.1 The test vessel shall be sized to maintain a test solution volume of 30 ± 10 mL/cm² of test specimen surface area. A maximum volume of the test vessel should be 10 L.

10.5.4.2 The test vessel shall be valved at both inlet and outlet to prevent contamination of the test solution by oxygen.

10.4.5.3 A fritted glass bubbler shall be used to introduce the inert gas and H₂S below the array of test specimens. The bubbles should not impinge on the test specimens.

10.5 Deflection calculations

10.5.1 An estimated pseudo-stress (S_c) for the material shall be used in beam deflection calculations. For carbon and low-alloy steels, S_c values are typically in the range of 69 MPa (10⁴ psi) at 22 to 24 HRC. As hardness increases, S_c generally decreases.

10.5.2 The selected range of estimated S_c values shall be used as pseudo-stresses to calculate the deflections of the test specimens.

10.5.3 The specimen deflection shall be calculated for each of the pseudo-stress values using Equation (3):

Where

D = defection;

S = nominal outer fiber pseudo-stress;

L = panjang batang Jarak antar ujung penyangga

E = modulus elastic; dan

t = ketebalan spesimen uji

Rumus ini mengasumsikan kondisi elastik dan mengabaikan efek konsentrasi tegangan dari lubang dan plastisitas spesimen uji pada tingkat tegangan tinggi.

10.6 Tahapan pengujian

10.6.1 Dimensi specimen uji harus diukur, dan defleksi harus dihitung untuk tingkat tegangan semu yang diinginkan.

10.6.2 Spesimen uji harus ditegangkan di dalam alat pemegang dengan mende fleksikannya ke 0,002 5 mm (0,000 1 inci) terdekat dengan menggunakan dial gauge dan alat pemegang.

Defleksi seyogyanya dikenakan secara hati-hati agar tidak melebihi dari harga yang diinginkan. Jika defleksi yang diinginkan terlampaui, pengujian harus dilaksanakan pada defleksi yang lebih tinggi atau dibatalkan.

10.6.3 Spesimen uji yang ditegangkan harus dibersihkan dan ditempatkan ke dalam bejana uji.

10.6.4 Bejana uji harus segera diisi dengan larutan uji yang dideaerasi dan disekat. Larutan uji harus diaerasi secara menyeluruh melalui salah satu dari metoda alternatif berikut untuk memastikan bahwa larutan uji bebas oksigen sebelum mengalirkan H₂S (lihat lampiran B).

(a) Larutan uji boleh diaerasi dalam bejana uji melalui pengaliran dengan gas inert dengan kecepatan sekurang-kurangnya 100mL/menit selama sekurang-kurangnya satu jam.

(b) Larutan uji boleh diaerasi sebelumnya in bejana tertutup yang dialiri dengan gas inert dengan kecepatan sekurang-

L = distance between end supports;

E = elastic modulus; and

t = thickness of test specimen.

The formula assumes elastic conditions and ignores the stress concentration effect of the holes and the test specimen plasticity at high stress levels.

10.6 Testing sequence

10.6.1 The test specimen dimensions shall be measured, and deflections shall be calculated for desired pseudo-stress levels.

10.6.2 Test specimens shall be stressed in fixtures by deflecting them to the nearest 0,002 5 mm (0,000 1 in) with dial gauge and fixture.

The deflection should be carefully applied to avoid exceeding the desired value. If the desired deflection is exceeded, the test shall be run at the higher deflection or discarded.

10.6.3 The stressed test specimens shall be cleaned and placed into the test vessel.

10.6.4 The test vessel shall be filled immediately with deaerated test solution and sealed. The test solution shall be completely deaerated by one of the following alternate methods to ensure that the test solution is oxygen-free before introducing H₂S (see Appendix B).

(a) The test solution may be deaerated within the test vessel by purging with inert gas at a rate of at least 100 mL/min for at least one

(b) The test solution may be previously deaerated in a sealed vessel that is purged with inert gas at a rate of at least

kurangnya 100 mL/menit untuk sekurang-kurangnya 1 jam/L dari larutan uji. Setelah larutan uji yang diaerasi sebelumnya dialirkan ke dalam bejana uji, harus dialirkan dengan gas inert sekurang-kurangnya 20 menit setelah penutupan bejana uji.

(c) Metoda deaerasi dan pengaliran lainnya boleh digunakan jika hasil larutan uji teraerasi menyeluruh sebelum mengalirkan H₂S.

10.6.5 Larutan uji harus dijenuhkan dengan H₂S dengan kecepatan sekurang-kurangnya 100 mL/menit untuk waktu sekurang-kurangnya 20 menit/L dari larutan uji. H₂S dalam bejana uji harus diganti secara berkala dengan gelembung H₂S selama 20 sampai 30 menit pada kecepatan sekurang-kurangnya 100 mL/menit per Liter larutan uji, tiga kali dalam seminggu selama pengujian. Hari penggantian ulang seyogyanya adalah hari pertama, ketiga, dan kelima setiap minggu.

Kontaminasi oksigen ditandai oleh adanya penampakan kabut (keruh) dalam larutan uji saat gas H₂S masuk ke bejana uji. Adanya pengkeruhan dalam larutan uji pada saat gas H₂S masuk pengujian harus membatalkan pengujian. Spesimen uji harus dipindahkan dan dibersihkan, dan larutan uji dibuat kembali, dipindahkan, dan prosedur deaerasi diulang.

10.6.6 Pengujian harus dihentikan setelah 720 jam atau bila seluruh spesimen uji telah mengalami kegagalan, yang mana terjadi lebih dahulu.

10.6.7 Spesimen uji tambahan dan pengujian bertingkat mungkin diperlukan untuk menentukan harga S_c secara teliti.

10.7 Deteksi kegagalan

10.7.1 Keberadaan retakan harus ditentukan secara visual dengan bantuan mikroskop binokular pembesaran rendah. Bila spesimen uji mengandung hanya satu atau beberapa retakan, bentuk spesimen uji mungkin telah berubah secara berarti, terutama karena *kinking*; tampilan ini

100 mL/min for at least 1 h/L of test solution. After this previously deaerated test solution is transferred into the test vessel, it shall be purged with inert gas for at least 20 min after sealing the test vessel.

(c) Other methods of deaeration and transfer may be used if they result in a completely deaerated test solution prior to H₂S introduction.

10.6.5 The test solution shall then be saturated with H₂S at a rate of at least 100 mL/min for at least 20 min/L of test solution. The H₂S in the test vessel shall be replenished periodically by bubbling H₂S for a duration of 20 to 30 min at a rate of at least 100 mL/min per liter of test solution three times per week for the duration of the test. The days for the replenishment should be the first, third, and fifth day of each week.

Oxygen contamination is evident by a cloudy (opaque) appearance in the test solution when the H₂S gas enters the test vessel. An opaque appearance to the test solution upon H₂S entry shall disqualify the test. The test specimen shall be removed and cleaned, and the test solution makeup, transfer, and deaeration procedures repeated.

10.6.6 The test shall be terminated after 720 hours or when all test specimens have failed, whichever occurs first.

10.6.7 Additional test specimens and iterative testing may be necessary to define the S_c closely.

10.7 Failure detection

10.7.1 Crack presence shall be determined visually with the aid of a low-power binocular microscope. If the test specimen contains only one or a few cracks, the shape of the test specimen may have changed considerably, predominantly by kinking; this feature

membantu mengidentifikasi spesimen uji yang retak. Namun demikian, jika terdapat banyak retakan, kemungkinan perubahan bentuknya mungkin tidak tampak. Karena produk korosi mungkin menutupi retakan, pemeriksaan secara hati-hati harus dilakukan. Pembersihan secara mekanik atau pemotongan metalografi dari spesimen uji mungkin diperlukan dalam kasus ini untuk mendeteksi retakan.

10.7.2 Kegagalan adalah meretaknya spesimen uji. Konsekuensinya, setelah pemaparan, permukaan spesimen uji harus dibersihkan dan diperiksa secara visual pada pembesaran 10X terhadap adanya retakan yang terbentuk yang mengikuti penekukan dengan tangan sampai 20 derajat. Spesimen uji yang memiliki retakan harus dianggap gagal.

10.8 Pelaporan hasil uji

10.8.1 Data kegagalan/ketidak-gagalan dan nilai tegangan semu fiber luar nominal (S) harus dilaporkan. Data waktu sampai gagal adalah pilihan.

10.8.2 S_c harus dihitung dengan menggunakan persamaan (4) untuk nilai S dinyatakan dalam Mpa, atau persamaan (5) untuk nilai S dinyatakan dalam psi:

$$S_c = \frac{\sum S}{68,95 \text{ MPa}} + 2 \frac{\sum T}{n} \quad (4)$$

Keterangan :

S = tegangan semu fiber luar Nominal (dalam Mpa) yang digunakan untuk menghitung defleksi batang .

T = hasil pengujian (sebagai contoh +1 untuk lulus dan -1 untuk gagal); dan

n = jumlah total specimen yang diuji.

CATATAN Bila S_c diinginkan dalam satuan metrik, harus dihitung dahulu dalam satuan psi, kemudian dikonversikan seperlunya.

helps to identify cracked test specimens. However, if many cracks are present, a shape change may not be apparent. Because corrosion products may obscure cracks, a careful examination shall be made. Mechanical cleaning or metallographic sectioning of the test specimen may be necessary in these instances to detect cracks.

10.7.2 Failure is cracking of the test specimen. Consequently, following exposure, the surface of the test specimens should be cleaned and visually inspected at 10X for evidence of cracking following a 20-degree bending by hand. Test specimens found to contain cracks shall be considered failed.

10.9 Reporting of test results

10.8.1 Failure/no-failure data and nominal outer fiber pseudo-stress (S) values shall be reported. Time-to-failure data are optional.

10.8.2 The S_c shall be calculated using Equation (4) for S values expressed in MPa, or Equation (5) for S values expressed in psi :

where:

S = nominal outer fiber pseudo-stress (in Mpa) used to Calculate the beam's deflection;

T = the test result (i.e., + 1 for passing and – 1 for Failure); and

n = the total number of test specimens tested.

NOTE If S_c is desired in metric units, it shall be computed first in psi units, then converted as needed.

Bila menggunakan persamaan (4), seluruh data tegangan semu yang lebih besar dari ± 210 MPa dari nilai perhitungan awal $S_c \times 68,95$ MPa harus diabaikan, dan nilai S_c baru harus dihitung ulang. Nilai S_c yang dihitung ulang menghilangkan data bias rendah dan tinggi.

When using equation (4), all pseudo-stress data that are more than ± 210 Mpa from the initial calculated value $S_c \times 68,95$ MPa shall be discarded, and a new S_c value shall be recalculated. The recalculated S_c value eliminates low and high bias data.

$$S_c = \frac{\sum \frac{S}{10^4 \text{ psi}} + 2 \sum T}{n} \quad (5)$$

Keterangan:

S = Tegangan semu fiber luar nominal (dalam psi) digunakan untuk menghitung defleksi batang;

T = Hasil uji (yaitu +1 untuk lulus dan -1 untuk gagal); dan

n = Jumlah total spesimen uji yang diuji.

Bila menggunakan persamaan (5), seluruh data tegangan semu yang lebih besar dari $\pm 3,0 \times 10^4$ psi dari nilai perhitungan awal $S_c \times 10^4$ MPa harus diabaikan, dan nilai S_c baru harus dihitung ulang. Nilai S_c yang dihitung ulang menghilangkan data bias rendah dan tinggi.

10.8.3 Nilai S_c yang dihitung untuk setiap material yang diuji harus dilaporkan. Jika S_c dihitung ulang, nilai S_c yang dihitung ulang harus dilaporkan bukan nilai S_c yang dihitung awal

10.8.4 Komposisi kimia, perlakuan panas, sifat mekanik, dan data lain yang diambil harus dilaporkan.

10.8.5 Tabel 2 memperlihatkan suatu format yang direkomendasikan untuk pelaporan data.

where :

S = nominal outer fiber pseudo-stress (in psi) used to calculate the beam's deflection;

T = the test result (i.e., +1 for passing and -1 for failure); and

n = the total number of test specimens tested.

When using Equation (5), all pseudo-stress data that are more than $\pm 3,0 \times 10^4$ psi from the initial calculated value $S_c \times 10^4$ psi shall be discarded, and a new S_c value shall be recalculated. The recalculated S_c value eliminates low and high bias data.

10.8.3 The calculated S_c value for each material tested shall be reported. If S_c is recalculated, the recalculated S_c value shall be reported, not the initial calculated S_c value.

10.8.4 The chemical compositions, heat treatment, mechanical properties, and other data taken shall be reported.

10.8.5 Table 2 shows the recommended format for reporting the data.

11 Metoda C-standar pengujian cincin C

11.1 Uji cincin-C Metoda C dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan EC logam dalam

11 Method C – C ring test

11.1 Method C, the C-Ring Test, provides for evaluating the EC resistance

kondisi pembebanan melingkar (*hoop stress*). Hal ini khususnya sesuai untuk membuat uji transversal tubing dan batangan. Kerentanan terhadap EC dengan menggunakan spesimen uji C-ring biasanya ditentukan oleh waktu sampai retak selama pengujian. Spesimen uji C-ring, bila didefleksi sampai ke tingkat tegangan serat luar tertentu, memberikan hasil gagal/tidak gagal. Pada saat pengujian spesimen uji multipel C-ring pada tingkat tegangan yang bervariasi, tegangan ambang batas aparen untuk EC dapat diperoleh.

Pasal 11 ini mengatur prosedur untuk pengujian C-ring pada suhu kamar dan tekanan atmosferik. Pertimbangan khusus untuk pengujian pada suhu dan tekanan tinggi telah diatur pada Bagian 8.

11.2 Spesimen uji

11.2.1 Suatu cincin-C spesimen uji sesuai dengan ASTM G 38 harus digunakan. Ukuran cincin-C dapat divariasikan dalam suatu rentang yang luas, tetapi cincin-C dengan diameter luar (OD) kurang dari sekitar 15,9 mm (0,625 inci) seyogyanya tidak digunakan karena meningkatnya kesulitan dalam pemesinan dan berkurangnya ketelitian dalam penegangan. Sebuah spesimen uji cincin-C tipikal diperlihatkan pada Gambar 9.

11.2.2 Tegangan melingkar dapat bervariasi di sepanjang lebar cincin-C; perluasan variasi bergantung pada nisbah lebar-terhadap-tebal (w/t) dan diameter-terhadap-tebal (d/t) dari cincin-C. Nisbah w/t harus berada diantara 2 dan 10, dan nisbah d/t harus berada diantara 10 dan 100.

11.2.3 Material yang digunakan dalam alat pemegang menggunakan baut harus material yang sama seperti spesimen uji C-ring atau diisolasi secara elektrik terhadap spesimen uji C-ring untuk meminimumkan efek galvanik, kecuali bila efek galvanik tertentu memang diinginkan.

11.2.4 Pemesinan seyogyanya dilakukan bertahap; dua pas terakhir seyogyanya menghilangkan tidak lebih dari 0,05 mm (0,002 inci) logam, dan pemotongan akhir

of metals under conditions of circumferential loading (*hoop stress*). It is particularly suitable for making transverse tests of tubing and bar. EC susceptibility with the C-ring test specimen is usually determined by time-to-cracking during the test. C-ring test specimens, when deflected to a particular outer fiber stress level, give a failure/no-failure result. When testing multiple C-ring test specimens at varying stress levels, an apparent threshold stress for EC can be obtained.

This section sets forth the procedure for C-ring testing at room temperature and atmospheric pressure. Special considerations for testing at elevated temperature and pressure are sets forth in Section 8.

11.2 Test specimen

11.2.1 An unnotched C-ring test specimen in accordance with ASTM G 38 shall be used. Sizes for C-rings may be varied over a wide range, but C-rings with an outside diameter (OD) of less than about 15,9 mm (0,625 in.) should not be used because of increased difficulties in machining and decreased precision in stressing. A typical C-ring test specimen is shown in Figure 9.

11.2.2 The circumferential stress may vary across the width of the C-ring; the variation extent depends on the width-to-thickness (w/t) and diameter-to-thickness (d/t) ratios of the C-ring. The w/t ratio shall be between 2 and 10 and the d/t ratio shall be between 10 and 100.

11.2.3 The material used in the bolting fixtures shall be of the same material as that of the C-ring test specimen or be electrically isolated from the C-ring test specimen to minimize any galvanic effects, unless specific galvanic effects are desired.

11.2.4 Machining should be done in stages: the final two passes should remove a total of no more than 0,05 mm (0,002 in.) of metal, and the final cut

seyogianya meninggalkan permukaan utama dengan kehalusan $0,81 \mu\text{m}$ ($32 \mu\text{inci}$) atau lebih halus. Setelah pemesinan, spesimen uji harus disimpan ruangan kelembaban rendah, dalam desikator atau dalam minyak yang tidak diinhibisi hingga siap untuk pengujian.

11.2.4.1 Suatu permukaan hasil pemesinan yang berkualitas tinggi biasanya digunakan untuk tujuan uji korosi. Namun demikian, permukaan sebuah tube atau batangan hasil pabrikan boleh juga dievaluasi dengan spesimen uji cincin-C. Penggunaan proses pengerjaan akhir yang lain dari pemesinan harus dilaporkan bersama dengan data uji.

should leave the principal surface with a finish of $0,81\mu\text{m}$ ($32 \mu\text{in.}$) or finer. After machining, test specimens shall be stored in a low-humidity area, in a desiccator or in uninhibited oil until ready for testing.

11.2.4.1 A high-quality machined surface is normally used for corrosion test purposes. However, the as-fabricated surface of a tube or bar also may be evaluated by C-ring test specimens. Using any finishing process other than machining must be reported with the test data



**Tabel 2 - Formulir laporan hasil
pengujian material yang seragam
(Bagian 1): Pengujian Metoda B – Uji
tekuk-batang standar**

**Table 2 - Uniform material testing
Report form (Part 1): Testing Method B
—Bent-beam test**

Submitting Company Submitted by _____ Telephone No. _____ Submittal Date _____ Testing Lab _____
Alloy Designation _____ General Material Type _____

Chemistry	Heat Number/Identification					
C Mn Si P S Ni Cr Mo V Al Ti Nb N Cu Other						
Material Processing History Melt Practise (e.g., OH, BOF, EF, AOD) ^(B)						
Product Form						
Heat Treatment (Specify time, temperature, and cooling mode for each cycle in process.)						
Other Mechanical, Thermal, Chemical, or Coating Treatment ^(C)						

^(A) Test method must be fully described if not in accordance with TM0177-96.

^(B) Melt practice: Open-hearth (OH), Basic oxygen furnace (BOF), Electric furnace (EF), Argon-oxygen decarburization (AOD).

^(C) E.g., cold work, plating, nitriding, prestrain.

**Tabel 2 - Formulir laporan hasil pengujian material yang seragam
(Bagian 2): Pengujian Metoda B – Uji tekuk-batang**

**Table 2 - Uniform material testing report form (Part2):
Testing Method B—Bent-beam test**

Lab Data for Material _____ Tasted per NACE TM0177-96^(A)

Test specimen Geometry : ☐ Standard ☐ Nonstandard Nominal Diameter _____ Gauge Length _____

Constant Load ☐ Dead Weight ☐ Hydraulic ☐ Other : _____

Sustained Load ☐ Proof Ring ☐ Spring ☐ Other : _____

☐ Post-Test Proof Ring Deflection Measurement

Chemistry : ☐ Test Solution A ☐ Test Solution B ☐ Other Test Solution _____

☐ Outlet Trap to Exclude Oxygen ☐ Temperature Maintained $24^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($75^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{F}$) ☐ Temperature Maintained _____ $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}\text{F}$)

Material Identification	Test Specimen Properties							Test Stress (% of Yield Strength)								Solution pH ^(E)		Applied Heat Treatment	Remarks (Including Surface Condition and H ₂ S Level)
	L ^(B) o c c a t i o n	O ^(C) r i e n t a t i o n	YS ^(D) i t e r l e n g t h ()	U T l e t n i s m i a l e ()	E l o n g a t i o n (%)	R e i r d n e u a c t i o n (%)	H a r d n e s s ()	Time to Failure (Hours) NF = No Failure at 720 Hours								S t a r t	F i n i s h		

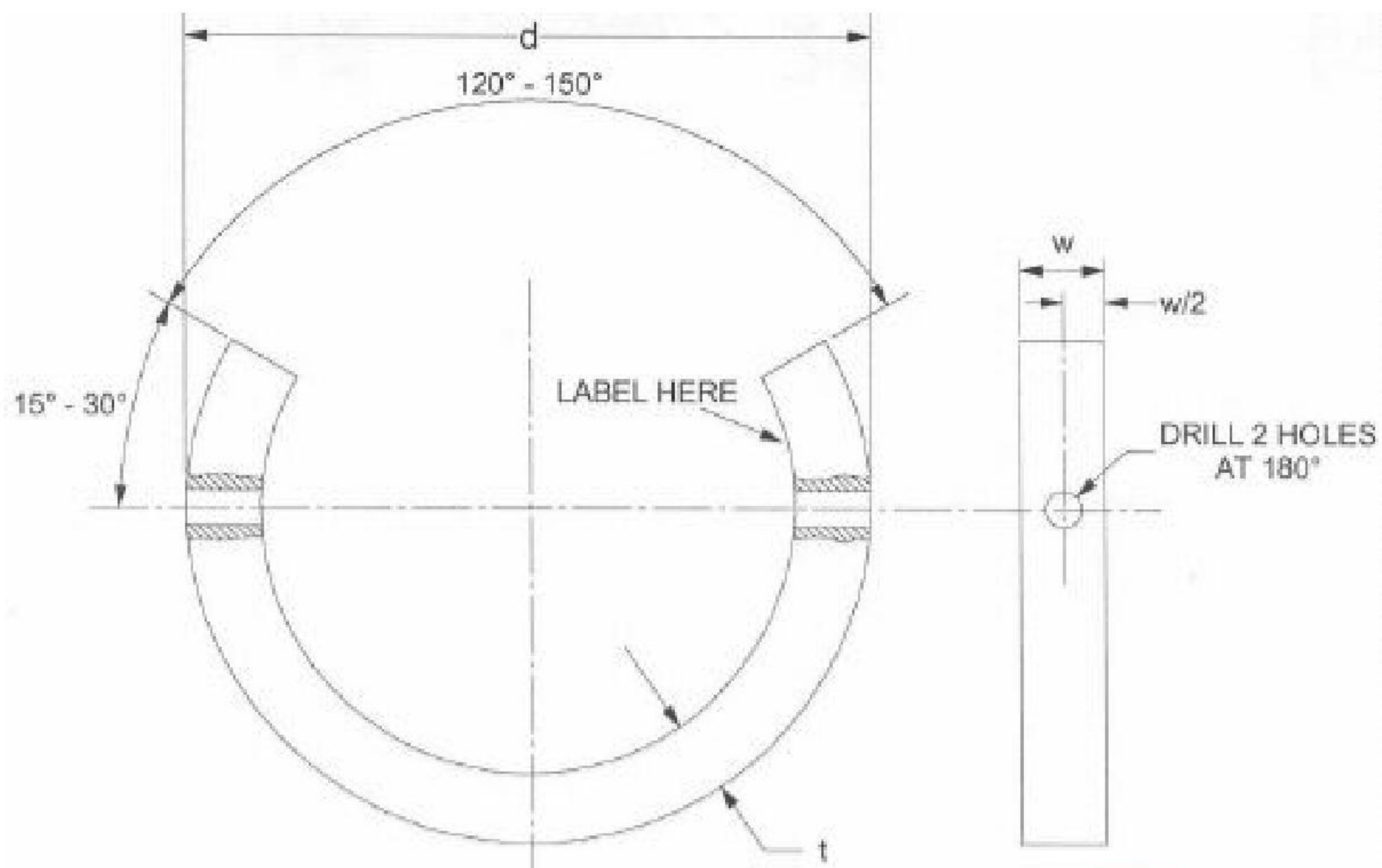
^(A) Test method must be fully described if not in accordance with NACE TM0177-96.

^(B) Location of test specimen from test piece may be: tubulars - outside diameter (OD), midwall (MW), or inside diameter (ID); solids – surface (S), quarter – midradius (MR), center (C).

^(C) Orientation may be longitudinal (L) or transverse (T).

^(D) Open parentheses must be filled with metric or English units, as appropriate to the data. Yield strength is assumed to be 0.2% offset unless otherwise noted.

^(E) Enter pH for test conducted on nonfailed specimen at highest stress if summarizing data.



Gambar 9 - Gambar dimensi spesimen uji cincin-C

Figure 9 - Dimensional drawing of the C-ring test specimen

11.2.5 Identifikasi spesimen uji

Bagian ujung spesimen uji C-ring boleh dimarka atau distensil getar.

11.2.5 Test specimen identification

The C-ring test specimen end segments may be stamped or vibratory stenciled.

11.2.6 Pembersihan spesimen uji

11.2.6.1 Sebelum pengujian, spesimen uji C-ring harus dibersihkan dari lemak dengan pelarut dan dibilas dengan aseton.

11.2.6 Test specimen cleaning

11.2.6.1 Before testing, C-ring test specimens shall be degreased with solvent and rinsed with acetone.

11.2.6.2 Setelah pembersihan, bagian uji dari spesimen uji C-ring dilarang dipegang atau tidak terkontaminasi.

11.2.6.2 After cleaning, the test section of the C-ring test specimen shall not be handled or contaminated.

11.3 Larutan uji untuk metoda C - Lihat Pasal 6

11.3 Test solution for Method C - See Section 6

11.4 Peralatan uji

11.4 Test equipment

11.4.1 Peralatan uji yang diperlukan untuk memberi tegangan spesimen uji cincin-C harus meliputi jangka sorong yang mampu mengukur hingga 0,025 mm (0,001 inci) terdekat, kunci pas yang ukurannya cocok dengan baut alat pemegang yang digunakan dan alat penjepit.

11.4.1 The test equipment necessary for stressing C-ring test specimens shall include calipers or equivalent equipment capable of measuring to the nearest 0,025 mm (0,001 in.), wrenches sized to the bolting fixtures used, and a clamping device

Spesimen uji cincin-C harus dijepit selama pemberian tegangan oleh alat pemegang atau ujung cincin-C. Tidak ada penjepitan yang dilakukan pada bagian tengah dari cincin-C.

11.4.2 Spesimen uji C-ring harus disangga dengan baik sehingga tidak ada bagian lain dari spesimen yang kontak dengan larutan uji kecuali daerah yang menerima tegangan.

11.4.2.1 Penyangga alat pemegang harus dikonstruksi dari material yang cocok dengan larutan uji.

11.4.2.2 Efek galvanik antara spesimen uji C-ring, alat penyangga, dan bejana uji harus dihindari. Sebagai contoh, selongsong penyekat atau washer dapat digunakan untuk mengisolasi cincin-C secara elektrik dari penyangga alat pemegang.

11.4.3 Bejana uji

11.4.3.1 Bejana uji seyogianya berukuran memadai untuk menampung volume larutan sebesar 30 ± 10 mL/cm² dari luas permukaan spesimen uji.

11.4.3.2 Gelas pembuih *fritted* harus digunakan untuk memasukkan gas lembam dan H₂S di bawah spesimen uji C-ring. Gelembung gas tidak boleh langsung menumbuk spesimen uji C-ring.

11.5 Perhitungan defleksi

11.5.1 Defleksi yang diperlukan untuk memperoleh tegangan yang diperlukan pada spesimen uji cincin-C harus dihitung dengan persamaan (6):

$$D = \frac{\pi d (d - t) S}{4 t E} \quad (6)$$

Keterangan

D = defleksi spesimen uji C-ring sepanjang lubang lubang baut;

d = diameter luar spesimen uji C-ring;

C-ring test specimens shall be clamped during stressing by the bolting fixtures or the tips of the C-ring. No clamping shall take place in the central test section of the C-ring.

11.4.2 The C-ring test specimen shall be so supported that nothing except the test solution contacts the stressed area.

11.4.2.1 The supporting fixture shall be constructed of material compatible with the test solution.

11.4.2.2 Galvanic effects between the C-ring test specimens, supporting fixtures, and test vessel shall be avoided. For example, an isolating bushing or washer can be used to isolate the C-ring electrically from the supporting fixtures.

11.4.3 Test vessel

11.4.3.1 The test vessels should be sized to maintain a solution volume of 30 ± 10 mL/cm² of test specimen surface area.

11.4.3.2 A fritted glass bubbler shall be used to introduce the inert gas and H₂S below the array of C-ring test specimens. The bubbles should not impinge on the C-ring test specimens.

11.5 Deflection calculations

11.5.1 The deflection necessary to obtain the desired stress on the C-ring test specimen shall be calculated using equation (6) :

where :

D = defection of C-ring test specimen across bolt holes;

d = C-ring test specimen outer diameter;

t = ketebalan spesimen uji C-ring;

S = tegangan serat luar yang diperlukan;
dan

E = modulus elastisitas

11.5.1.1 Defleksi yang dihitung dengan persamaan (6) seyogianya dibatasi pada tegangan di bawah batas elastik material. Untuk beberapa CRA batas elastiknya memadai di bawah 0,2% tegangan luluhnya. Harga defleksi di atas batas elastik dapat dihitung dari informasi yang diperoleh dari kurva tegangan material dan karakteristik regangan defleksi dari geometri cincin-C yang spesifik yang sedang digunakan.

11.5.1.2 Persamaan (6) dapat digunakan untuk menghitung defleksi yang diperlukan untuk menegangkan spesimen uji hingga 100% dari tegangan luluh (S_y) 0,2% offset dengan mensubstitusikan $S_y + E(0,002)$ untuk S dalam persamaan semula. Hubungan ini tidak berlaku untuk semua sistem paduan logam dan seyogyanya diperiksa sebelum digunakan pada material selain baja karbon dan paduan rendah.

11.5.1.3 Tidak ada persamaan untuk menghitung defleksi yang diperlukan untuk memberikan tegangan pada spesimen uji C-ring hingga harga diantara batas elastik material dengan tegangan luluh 0,2% offset yang ditentukan.

11.5.2 Defleksi dapat ditentukan langsung dengan menggunakan pengukur regangan setempat dengan metode tahanan elektrik yang dipasang pada spesimen cincin-C.

11.5.2.1 Setiap cincin-C harus diregangkan pada diameter luarnya pada 90 derajat berlawanan arah dengan sumbu baut cincin-C. Baut harus dikencangkan hingga regangan yang sesuai dengan memonitor keluaran pengukur regangan, kemudian pengukur regangan dan sisa-sisa perekat harus dibersihkan. Cincin-C kemudian harus dibersihkan kembali dengan prosedur yang sama seperti pada paragraf 11.2.6.

t = C-ring test specimen thickness;

S = desired outer fiber stress; and

E = modulus of elasticity.

11.5.1.1 Deflections calculated by Equation (6) should be limited to stresses below the material elastic limit. For many CRAs the elastic limit is well below the 0,2% offset proof (yield) stress. Deflection values beyond the elastic limit can be calculated from information obtained from the stress-strain curve of the material and the strain-deflection characteristics of the specific C-ring geometry being used.

11.5.1.2 Equation (6) can be used to calculate the deflection necessary to stress the test specimen to 100% of the 0,2% offset yield strength (S_y) by substituting $S_y + E(0,002)$ for S in the original equation. This relationship is not valid for all alloy systems and should be checked before use on materials other than carbon and low alloys-steels.

11.5.1.3 No equation exists to calculate the deflection needed to stress C-ring test specimens to values between the material's elastic limit and its 0,2% offset proof (yield) stress.

11.5.2 The deflection can determined directly by using electrical resistance strain gauges applied to the C-ring specimen.

11.5.2.1 Each C-ring shall be strain-gauged on the outside diameter at a point 90 degrees opposite the axis of the C-ring bolt. The bolt shall be tightened to the appropriate strain by monitoring the strain gauge output, then strain gauge and glue residue shall be removed. The C-ring shall then be recleaned using the same procedures given in Paragraph 11.2.6.

11.6 Tahapan pengujian

11.6.1 Dimensi spesimen uji C-ring harus diukur, dan defleksi cincin-C yang terkait harus dihitung.

11.6.2 Spesimen uji cincin-C harus diberi tegangan dengan mengencangkan alat pemegang yang menggunakan baut hingga defleksi yang dihitung; diukur hingga 0,025 mm (0,001 0 inci) terdekat.

11.6.2.1 Defleksi harus diukur pada garis tengah alat pemegang yang menggunakan baut. Pengukuran ini boleh dilakukan pada diameter luar, diameter dalam, atau dinding tengah dengan hati-hati untuk menjaga konsistensi pada titik pengukuran. Bila defleksi yang diinginkan terlampaui, pengujian harus dilakukan pada defleksi yang lebih tinggi atau dibatalkan.

11.6.3 Spesimen uji C-ring harus dibersihkan dan diletakkan dalam bejana uji.

11.6.4 Bejana uji harus diisi dengan larutan uji yang dideaerasi dan disekat. Larutan uji harus Deaerasi sepenuhnya dengan salah satu dari metoda alternatif yang berikut ini untuk memastikan bahwa larutan uji bebas dari oksigen sebelum dicampur H_2S (lihat Catatan tambahan B).

(a) Larutan uji mungkin dapat diaerasi di dalam bejana test dengan membersihkan dengan gas mulia dengan kecepatan 100 mL/menit sedikitnya satu jam.

(b) Larutan uji mungkin telah diaerasi di dalam bejana uji tertutup yang dibersihkan dengan gas mulia pada kecepatan 100 mL/menit untuk sedikitnya 1 jam/L larutan uji. Setelah diaerasi sebelumnya larutan uji dialirkan ke dalam bejana uji, yang telah dibersihkan dengan gas mulia sedikitnya 20 menit setelah menutup bejana uji.

(c) Metoda lain untuk mengalirkan dan diaerasi dapat digunakan apabila hasil telah selesai.

11.6 Testing sequence

11.6.1 The C-ring test specimen dimensions shall be measured, and the corresponding C-ring deflections shall be calculated.

11.6.2 C-ring test specimens shall be stressed by tightening bolting fixtures to calculated deflections measured to the nearest 0,025 mm (0,001 0 in.)

11.6.2.1 Deflections shall be measured at the center line of the bolting fixture. These measurements may be taken at the outer diameter, inner diameter, or midwall with care to maintain consistency in the points of measurement. If the desired deflection is exceeded, the test shall be run at the higher deflection or discarded.

11.6.3 The C-ring test specimens shall be cleaned and placed into the test vessel.

11.6.4 The test vessel shall be filled immediately with test solution and sealed. The test solution shall be completely deaerated by one of the following alternate methods to ensure that the test solution is oxygen-free before introducing H_2S (see Appendix B).

(a) The test solution may be deaerated within the test vessel by purging with inert gas at a rate of at least 100 mL/min for at least one hour.

(b) The test solution may be previously deaerated in a sealed vessel that is purged with inert gas at a rate of at least 100 mL/min for at least 1 h/L of test solution. After this previously deaerated test solution is transferred into the test vessel, it shall be purged with inert gas for at least 20 min after sealing the test vessel.

(c) Other methods of deaeration and transfer may be used if they result in a complet

11.6.5 H₂S dilarutkan ke dalam larutan uji dengan kecepatan minimal 100 mL/menit untuk sedikitnya 20 menit/L larutan uji. Aliran H₂S yang terus menerus ke dalam bejana uji dan perangkat saluran seyogyanya dijaga pada aliran kecil (beberapa tetes per menit). Ini akan menjaga konsentrasi H₂S dan tekanan yang positif kecil untuk mencegah udara masuk ke dalam bejana uji melalui kebocoran kecil.

11.6.5.1 Pencemaran oksigen ditandai dengan kekeruhan pada larutan uji sewaktu gas H₂S masuk bejana uji. Pengujian dibatalkan apabila larutan uji kelihatan keruh sewaktu gas H₂S masuk bejana uji. Spesimen uji harus dikeluarkan dan dibersihkan dan larutan uji dibuat ulang dan prosedur diaerasi dan pengaliran diulang.

11.6.6 Lama pengujian harus 720 jam atau hingga seluruh spesimen uji C-ring telah mengalami kegagalan, yang mana saja yang terjadi lebih dahulu.

11.7 Deteksi kegagalan

Cincin-C yang diberi tegangan tinggi dari paduan-paduan yang relatif rentan terhadap EC cenderung untuk meretak pada seluruh ketebalannya atau meretak dengan jelas. Namun, dengan paduan-paduan yang lebih tahan terhadap EC, peretakan sering mulai secara perlahan-lahan dan sulit dideteksi. Retakan kecil dapat berawal pada berbagai tempat dan dapat tertutup oleh produk korosi. Hal ini lebih disukai untuk melaporkan retakan yang pertama, bila terdeteksi pada pembesaran 10X, sebagai kriteria kegagalan. Suatu metode alternatif untuk pemaparan peretakan dalam cincin-C setelah pemaparan adalah untuk memberikan tegangan cincin-C di atas tingkat tegangan yang diuji. Retakan yang dihasilkan EC dapat dibedakan dari retakan yang diinduksi secara mekanik oleh kondisi korosi dari permukaan retakan.

11.8 Pelaporan hasil

11.8.1 Data gagal/ tidak-gagal harus dilaporkan dari setiap tingkat tegangan. Jika

11.6.5 The test solution shall then be saturated with H₂S at a rate of at least 100 mL/min for at least 20 min/L of test solution. A continuous H₂S flow through the test vessel and outlet trap shall be maintained for the duration of the test at a low flow rate (a few bubbles per min). This maintains the H₂S concentration and a slight positive pressure to prevent air from entering the test vessel through small leaks.

11.6.5.1 Oxygen contamination is evident by a cloudy (opaque) appearance in the test solution when the H₂S gas enters the test vessel. An opaque appearance to the test solution upon H₂S entry shall disqualify the test. The test specimen shall be removed and cleaned, and the test solution makeup, transfer, and deaeration procedures repeated.

11.6.6 The test duration shall be 720 hours or until all C-ring test specimens have failed, whichever occurs first.

11.7 Failure detection

Highly stressed C-rings of alloys that are appreciably susceptible to EC tend to fracture through the entire thickness or to crack in a way that is conspicuous. However, with more-EC-resistant alloys, cracking frequently begins slowly and is difficult to detect. Small cracks may initiate at multiple sites and be obscured by corrosion products. It is preferable to report the first crack, if detected at 10X magnification, as the criterion of failure. An alternative method of exposing cracking in C-rings after exposure is to stress the C-ring beyond the tested stress level. Cracks resulting from EC can be differentiated from mechanically induced cracks by the corroded nature of the crack surface.

11.8 Reporting of results

11.8.1 Failure/no-failure data shall be reported from each stress level. If time-

data waktu sampai gagal dicatat, data tersebut harus dilaporkan.

11.8.2 Komposisi kimia, perlakuan panas, sifat mekanik, dan data lain yang diambil harus dilaporkan.

11.8.3 Tabel 3 memperlihatkan sebuah format yang direkomendasikan untuk pelaporan data.

12 Metoda D—uji (DCB)

12.1 Metode D, Uji Standar DCB menetapkan pengukuran ketahanan material metalik terhadap propagasi EC (peretakan yang diinduksi lingkungan), yang dinyatakan dalam bentuk satu faktor intensitas tegangan kritis, K_{ISSC} untuk SSC dan K_{IEC} untuk kasus EC yang lebih umum, dengan menggunakan uji mekanika rekahan tipe *crack-arrest*. Metode D tidak bergantung pada ketidakpastian inisiasi sumuran dan/atau retakan, karena retakan selalu diawali pada uji yang absah. Untuk pengujian SSC baja karbon dan paduan rendah metode ini membutuhkan waktu yang sedikit. Metode D memberikan peringkat numerik langsung dari ketahanan propagasi retakan dan tidak bergantung pada evaluasi hasil gagal/tidak gagal.

CATATAN Subyek pengujian mekanika rekahan untuk evaluasi ketahanan EC saat ini sedang dalam pertimbangan Komite NACE TG 085 and Work Group (WG) 085c dan T-1F-9c dan Komite-komite ASTM E 8.06.02 dan G 1.06.04. Para pengguna standar ini seyogyanya tetap menjalin hubungan dengan kelompok ini dan aktivitas-aktivitas teknik mereka untuk pengetahuan tentang seni teknik pengujian yang mutakhir.

Bagian ini mengatur prosedur pengujian DCB pada suhu kamar dan tekanan atmosferik dan memungkinkan perhitungan K_{ISSC} . Bila pertimbangan khusus yang diatur dalam bagian 7 untuk pengujian pada suhu dan tekanan yang lebih tinggi diobservasi, faktor intensitas tegangan yang terhitung seyogyanya ditulis sebagai K_{IEC} . Persamaan yang diperlukan untuk menghitung K_{IEC} adalah sama yang diatur dalam paragraf 11.6 untuk K_{ISSC} . Namun, deskripsi perilaku material berikut untuk kondisi SSC ini mungkin tidak akurat untuk kondisi EC yang

to-failure data are recorded, they shall be reported.

11.8.2 The chemical composition, heat treatment, mechanical properties, and other data taken shall be reported.

11.8.3 Table 3 shows a recommended format for reporting the data.

12 Method D – DCB test

12.1 Method D, the DCB Test, provides for measuring the resistance of metallic materials to propagation of EC, expressed in terms of a critical stress intensity factor, K_{ISSC} for SSC and K_{IEC} for the more general case of EC, using a crack-arrest type of fracture mechanics test. Method D does not depend on the uncertainty of pitting and/or crack initiation, because a crack is always initiated in a valid test. For SSC testing of carbon and low-alloy steels this method requires little time. Method D gives a direct numerical rating of crack propagation resistance and does not depend on evaluation of failure/no-failure results.

NOTE The subject of fracture mechanics testing for evaluation of EC resistance is currently under consideration by NACE TG 085 and Work Group (WG) 085c, and ASTM Committees E 8.06.02 and G 1.06.04. The user of this standard should maintain contact with these groups and their technical activities for knowledge of current state-of-the-art testing techniques.

This section set forth the procedure for DCB testing at room temperature and atmospheric pressure and enables computation of K_{ISSC} . When the special considerations set forth in Section 7 for testing at elevated temperature and pressure are observed, the computed stress intensity factor should be written as K_{IEC} . The equations needed to compute K_{IEC} are the same as those set forth in Paragraph 11.6 for K_{ISSC} . However, the following descriptions of material behaviour under SSC conditions

lebih umum.

12.2 Spesimen uji

12.2.1 Spesimen uji standar DCB design harus berdasarkan pada—gambar 10 (a). Pasak bertirus ganda harus digunakan untuk membebani spesimen uji DCB (lihat gambar 10[b]). Pasak bertirus ganda ini harus terbuat dari material yang sama dengan spesimen uji DCB atau material dalam kelas yang sama dengan spesimen uji. Material pasak ini boleh diberi perlakuan panas atau pengerjaan dingin untuk meningkatkan kekerasannya dan sehingga membantu mencegah macetnya pada saat pemasukan pasak. Pasak dapat diselubungi dengan pita polytetrafluoroethylene (PTFE) untuk mengurangi korosi pada daerah pasak.

may not be accurate for the more general conditions of EC.

12.2 Test specimen

12.2.1 The standard DCB test specimen design shall be in accordance with Figure 10(a). A double-tapered wedge shall be used to load the DCB test specimen (see Figure 10[b]). The double-tapered wedge shall be made of the same material as the DCB test specimen or of the same class of material as the DCB test specimen. The wedge material may be heat-treated or cold-worked to increase its hardness and thereby help to prevent galling during wedge insertion. Wedges may be shielded with polytetrafluoroethylene (PTFE) tape to reduce corrosion in the wedge region.



Tabel 3 - Formulir laporan hasil pengujian material (Bagian 1): Pengujian Metode C – Uji cincin-C

Table 3 – Uniform material testing report form (Part 1): Testing Method – C-ring test

Submitting Company _____ Submittal Date _____
 Submitted by _____ Telephone No. _____ Testing Lab _____
 Alloy Designation _____ General Material Type _____

Chemistry	Heat Number/Identification					
C Mn Si P S Ni Cr Mo V Al Ti Nb N Cu Other						
Material Processing History Melt Practice (e.g., OH, BOF, EF, AOD) ⁽⁸⁾						
Product Form						
Heat Treatment (Specify time, temperature, and cooling mode for each cycle in process.)						
Other Mechanical, Thermal, Chemical, or Coating Treatment ^(c)						

^(A) Test method must be fully described if not in accordance with TM0177.

^(B) Melt practice: Open-hearth (OH), Basic oxygen furnace (BOF), Electric furnace (EF), Argon-oxygen decarburization (AOD).

^(C) E.g., cold work, plating, nitriding, prestrain.

**Tabel 3 - Formulir laporan hasil pengujian material (Bagian 2):
Pengujian Metoda C - Uji cincin-C**

**Table 3 - Uniform material testing report form (Part 2): Testing
Method C - C-ring test**

Lab Data for Material _____ Tasted per NACE TM0177-96^(A)

Test specimen Geometry : ☐ Standard ☐ Nonstandard Nominal Diameter _____ Gauge Length _____

Constant Load___ ☐ Dead Weight ☐ Hydraulic ☐ Other : _____

Sustained Load___ ☐ Proof Ring ☐ Spring ☐ Other : _____

☐ Post-Test Proof Ring Deflection Measurement

Chemistry : ☐ Test Solution A ☐ Test Solution B ☐ Other Test Solution _____

☐ Outlet Trap to Exclude Oxygen ☐ Temperature Maintained $24^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($75^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{F}$) ☐ Temperature Maintained _____ $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}\text{F}$)

Material Identification	Test Specimen Properties							Test Stress (% of Yield Strength)								Solution pH ^(E)		Applied Heat Treatment	Remarks (Including Surface Condition and H ₂ S Level)
	L ^(B) o c c a t i o n	O ^(C) r i e n t a t i o n	YS ^(D) e r l e n g t h ()	U T l e n g t h ()	E l o n g a t i o n (%)	R A e i r d n e a c t i o n (%)	H a r d n e s ()	Time to Failure (Hours) NF = No Failure at 720 Hours								S t a r t	F i n i s h		

^(A) Test method must be fully described if not in accordance with NACE TM0177.

^(B) Location of test specimen from test piece may be: tubulars - outside diameter (OD), midwall (MW), or inside diameter (ID); solids - surface (S), quarter - midradius (MR), center (C).

^(C) Orientation may be longitudinal (L) or transverse (T).

^(D) Open parentheses must be filled with metric or English units, as appropriate to the data. Yield strength is assumed to be 0.2% offset unless otherwise noted.

^(E) Enter pH for test conducted on nonfailed specimen at highest stress if summarizing data.

12.2.2 Ketebalan spesimen uji standar DCB harus mendekati 9,53 mm (0,375 in); dimensi yang lengkap diperlihatkan dalam Gambar 10(a). Bila material yang sedang diuji terlalu tipis untuk memenuhi persyaratan ini, pilihan ukuran ketebalan seperti yang terlihat dalam gambar dapat dipertimbangkan. Spesimen uji DCB dari beberapa baja karbon dan paduan rendah yang lebih kecil dapat memberikan harga $K_{I,SSC}$ yang lebih rendah daripada specimen uji yang berukuran standar DCB; perbedaan setinggi 37% telah teramati. Pengerjaan lebih lanjut diperlukan untuk menentukan besarnya efek ini.

12.2.3 Spesimen uji DCB dengan ketebalan penuh dapat dipersiapkan dari produk tubular bila nisbah diameter luar terhadap ketebalan dindingnya lebih besar dari 10. Takikan sisinya seyogianya 20% dari tebal dinding, sehingga menjaga ketebalan bagian yang tidak tertakik (B_n) sama dengan 60% dari tebal dinding.

12.2.4 Takikan-takikan sisi harus dimesin dengan hati-hati untuk menghindari panas yang berlebihan dan pengerjaan dingin. Dua pas terakhir seyogianya menghilangkan hingga keseluruhan logam yang terambil 0,05 mm (0,002 inci). Penggerindaan juga dapat diterima jika proses tersebut tidak memperkeras material.

11.2.5 Dalam menguji material dengan $K_{I,SSC}$ rendah (di bawah 22 hingga 27 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ [20 hingga 25 $\text{ksi}\sqrt{\text{in}}$]) atau material padamana inisiasi retakan adalah sulit, misalnya material dengan kuat luluh lebih rendah, penggunaan slot mesin *electrodischarge* (EDM) dalam gambar 10 (a) atau suatu praretak lelah sangat membantu masing-masing dalam menghindari retakan yang terjadi pada sisi dan dalam menginisiasi SSC. Awal retakan fatik specimen DCB seyogianya dilakukan di bawah kendali frekuensi yang sesuai. Rentang yang diterima untuk awal retak fatik adalah 1 sampai 3 mm (0,04 sampai 0,12 inci) dari ujung takikan. Untuk menghindari kesalahan hasil yang tinggi beban awal retakan maksimum harus kurang dari 70% dari awal K_I yang direncanakan yang dinyatakan dengan 30 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ (27 $\text{ksi}\sqrt{\text{inci}}$). Perbandingan beban minimum dan

12.2.2 The standard DCB test specimen thickness shall be nominally 9,53 mm (0,375 in.); complete dimensions are shown in Figure 10(a). When the material being tested is too thin to meet this requirement, optional thicknesses as noted in the figure may be considered. Subsize DCB test specimens of some carbon and low-alloy steels may give lower $K_{I,SSC}$ values than the standard DCB test specimens; differences as high as 37% have been observed. Further work is necessary to quantify this effect.

12.2.3 Full-thickness DCB test specimens may be prepared from tubular products if the ratio of the tubular outside diameter to the wall thickness is greater than 10. The sides grooves should be 20% of the wall thickness, thus maintaining a web thickness (B_n) equal to 60% of the wall thickness.

12.2.4 The side grooves must be machined carefully to avoid overheating and cold working. The final two machining passes should remove a total of 0,05 mm (0,002 in.) of metal. Grinding is also acceptable if the process does not harden the material.

12.2.5 In testing materials of low $K_{I,SSC}$ (below 22 to 27 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ [20 to 25 $\text{ksi}\sqrt{\text{in.}}$]) or materials in which crack initiation is difficult, e.g., lower-yield-strength materials, introducing the electrodischarge-machined (EDM) slot noted in Figure 10(a) or a fatigue precrack is very helpful in avoiding side-cracking and in initiating SSC, respectively. Fatigue precracking of the DCB specimen should be conducted under load control at a convenient frequency. The acceptable range for a fatigue precrack is 1 to 3 mm (0,04 to 0,12 in.) past the base of the chevron. To avoid erroneous high results, the maximum precracking load shall be the lesser of 70% of the expected initial K_I imparted by the wedge or 30 $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ (27 $\text{ksi}\sqrt{\text{in.}}$). The ratio of minimum to

maksimum beban awal retakan harus dalam rentang 0,1 sampai 0,2. Awal retak seyogianya dipertajam pada dua per tiga dari beban awal retakan maksimum kira-kira 20 000 putaran untuk menambah retak melalui daerah tegangan sisa tekan yang mungkin sudah terjadi.

12.2.6 Identifikasi spesimen uji

Setiap sisi lengan dari spesimen uji DCB seyogianya ditandai dengan pemarkaan atau stensil getar, baik dekat dua lubang atau pada bagian ujung yang tidak diberi beban pemampasan.

12.2.7 Pengecekan dimensi

Dimensi B , B_n , $2h$, dan jarak antara pusat lubang lubang dari sisi terdekat spesimen uji DCB harus diukur. (Suatu mikrometer yang berujung runcing seyogianya digunakan untuk mengukur B_n). Harga yang berada di luar batasyang diperlihatkan dalam gambar 10 (a) harus dicatat untuk penggunaan selanjutnya dalam perhitungan K_{ISSC} . (Lihat paragraf 12.6.3).

12.2.8 Pembersihan spesimen uji

Spesimen uji seyogianya dibersihkan dari lemak dengan pelarut dan dibilas dalam aseton.

maximum load shall be in the range of 0,1 to 0,2. The precrack should be sharpened at two-thirds of the maximum precracking load for approximately 20 000 cycles to extend the crack through any zone of residual compressive stresses that might have developed.

12.2.6 Test specimen identification

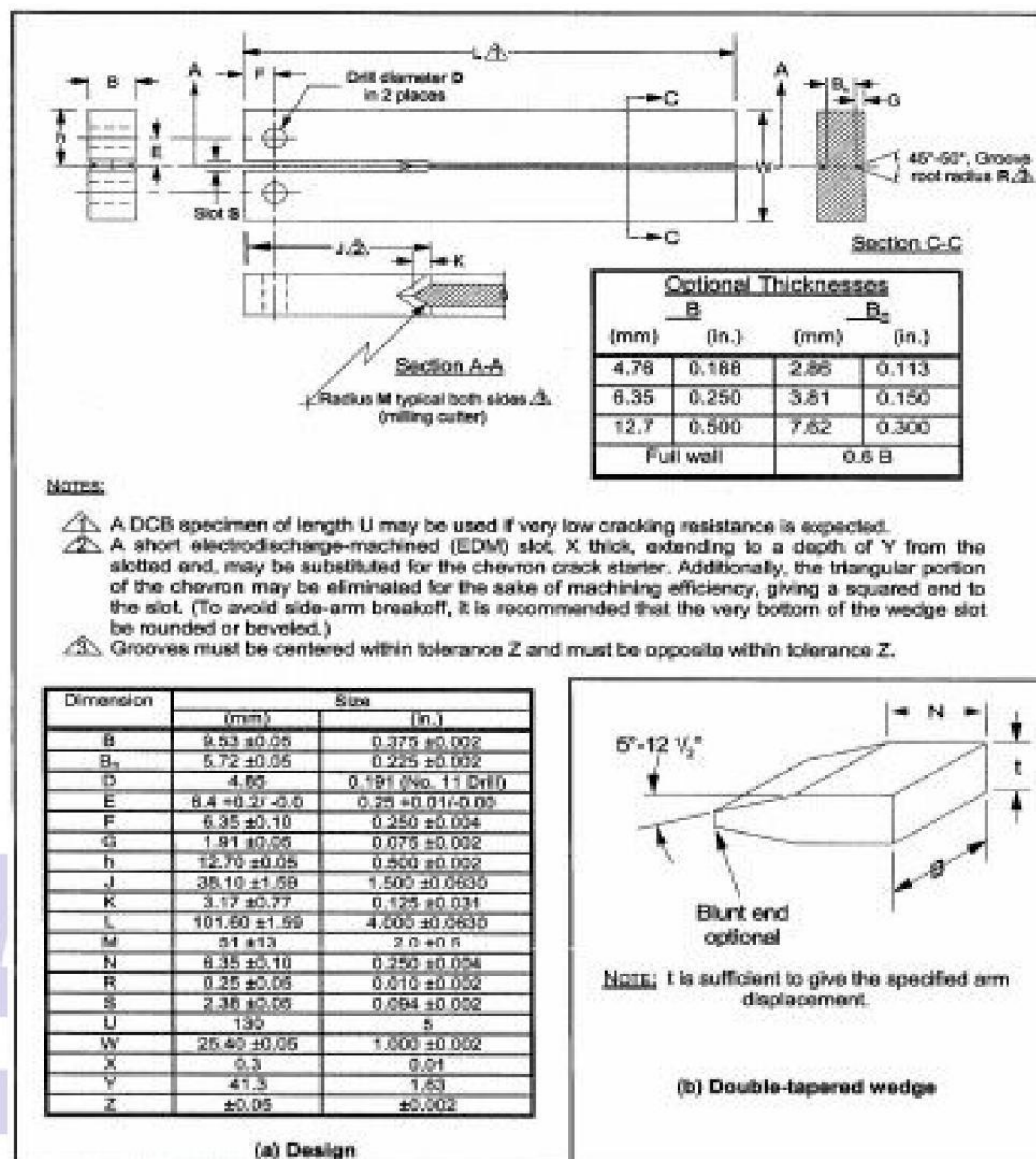
Each sidearm of the DCB test specimen should be identified by stamping or vibratory stenciling, either near the two holes or on the end that is not wedge-loaded.

12.2.7 Dimensional check

Dimensions B , B_n , $2h$, and the distance of the hole centers from the near end of the DCB test specimen shall be measured. (A blade micrometer should be used for measuring B_n .) Any values that lie outside the limits shown in Figure 10(a) shall be recorded for later use in computing K_{ISSC} (see Paragraph 12.6.3).

12.2.8 Test specimen cleaning

Test specimens should be degreased with solvent and rinsed in acetone.



Gambar 10 - Spesimen DCB

Figure 10 - DCB Specimen

12.3 Larutan uji untuk Metoda D – lihat Pasal 6

CATATAN Untuk material dengan ketahanan terhadap retakan yang tinggi, praretakan lelah dan/atau pergeseran lengan awal yang lebih tinggi (δ) seyogyanya digunakan dengan lingkungan dengan pH yang lebih tinggi.

Selanjutnya, larutan uji (Larutan Uji A, B atau C) harus dijenuhkan dengan H₂S seperti yang dijelaskan dalam Butir 12.5.7.

12.4 Peralatan uji

12.4.1 Suatu bejana uji dibuat sedemikian ukurannya untuk mengakomodasi satu liter larutan uji per spesimen uji DCB (volume larutan uji 10 hingga 12 mL/cm² luas permukaan spesimen uji DCB) seyogyanya

12.3 Test solution for Method D—see Section 6

NOTE For materials with high cracking resistance, precracking and/or higher initial arm displacements (δ) should be used with the higher-pH environment.

Subsequently, the test solution (Test Solution A, B or C) shall be saturated with H₂S as described in Paragraph 12.5.7.

12.4 Test equipment

12.4.1 A test vessel sized to accommodate one liter of test solution per DCB test specimen (test solution volume of 10 to 12 mL/cm² of DCB test specimen surface area) should be

digunakan. Volume maksimum bejana uji seyogianya 10 L untuk memudahkan penjuhan larutan uji.

12.4.2 Pelat dasar yang berlubang atau pemegang spesimen uji lainnya (yang mengisolasi secara listrik) seyogianya digunakan untuk menjamin spasi dan orientasi dari spesimen uji DCB seragam.

12.4.3 Sebuah pemegang pasak pembeban yang kecil boleh dipasang pada penjepit dari sebuah meja kerja untuk memudahkan pemasukan seluruh pasak, agar rata dengan ujung spesimen uji DCB.

12.4.4 Sebuah pembuih gelas *fritted* harus digunakan untuk memasukkan gas lembam dan H_2S di bawah susunan specimen DCB. Gelembung seyogyanya tidak menumbuk spesimen uji DCB.

12.5 Tahapan pengujian

12.5.1 Bersihkan spesimen uji DCB seperti ditunjukkan dalam Paragraf 12.2.8.

12.5.2 Siapkan spesimen uji DCB dengan praretakan (jika diinginkan) dengan menggunakan prosedur dalam Paragraf 12.2.5.

12.5.3 Ukur tebal celah. *Feeler* gauge seyogianya digunakan untuk pengukuran ini. Karena intensitas tegangan awal K_{ISSC} mempengaruhi akhir dari baja karbon dan paduan rendah, ketebalan pasak untuk grade-grade tahan SSC seperti baja yang mencapai dengan pergeseran lengan dalam Tabel 4 seyogyanya dipilih. Pergeseran lengan untuk setiap tingkat tidak boleh melebihi batas atas yang tercantum dalam Tabel 4 untuk tingkat tersebut.

Pergeseran lengan yang dapat diterima, yang diberikan dalam Tabel 4 mungkin juga memberikan petunjuk dalam pemilihan pasak untuk pengujian grade baja karbon dan paduan lainnya. Tabel 5 memberikan petunjuk dalam pemilihan ketebalan pasak. Produk baja paduan rendah yang tidak tercantum dalam Tabel 4 dan untuk paduan lainnya. Bila menguji baja dengan kuat luluh

employed. The maximum volume of the test vessel should be 10 L for ease of test solution saturation.

12.4.2 A slotted base plate or other test specimen holder (electrically isolating) should be used to ensure uniform spacing and orientation of the DCB test specimens.

12.4.3 A small wedge-loading fixture may be attached to the jaws of a bench vise to facilitate full wedge insertion, flush with the end of the DCB test specimen.

12.4.4 A fritted glass bubbler shall be used to introduce the inert gas and H_2S below the array of DCB test specimens. The bubbles should not impinge on the DCB test specimens.

12.5 Testing sequence

12.5.1 Clean the DCB test specimens as indicated in Paragraph 12.2.8.

12.5.2 Prepare DCB test specimens with precracks (if desired) using the procedure in Paragraph 12.2.5.

12.5.3 Measure the slot thickness. Feeler gauges should be used for this measurement. Because initial stress intensity affects the final K_{ISSC} of carbon and low-alloy steels,⁽¹⁷⁾ wedge thicknesses for the SSC-resistant grades of such steels that achieve the arm displacements in Table 4 should be selected. The arm displacement for each grade shall not exceed the upper limit listed in Table 4 for that grade.

The acceptable arm displacements given in Table 4 also may provide guidance in the selection of wedges for testing other grades of carbon and low-alloy steels. Table 5 provides guidance in choosing wedge thicknesses for low-alloy steel products not listed in Table 4 and for other alloys. When testing steels with yield strengths below 550 MPa (80

⁽¹²⁾ D.L. Sponseller, "Interlaboratory Testing of Seven Alloys for SSC Resistance by the Double Cantilever Beam Method," "Corrosion 48, 2 (1992);p.159.

di bawah 550 MPa (80 ksi), pergeseran lengan (δ) boleh dihitung menggunakan persamaan (7a) atau (7b), padamana YS adalah kuat luluh.

ksi), the arm displacement (δ) may be computed using Equation (7a) or (7b), in which YS is yield strength:

$$\delta(\text{mm}) = \left[2,02 \frac{\text{YS}(\text{MPa})}{530} \pm 0,13 \text{ mm} \right] \quad (7a)$$

$$\delta(\text{in.}) = \left[0,080 \frac{\text{YS}(\text{ksi})}{1953} \pm 0,005 \text{ in.} \right] \quad (7b)$$

Pengalaman saat ini memperlihatkan baja karbon dan paduan rendah diuji pada temperatur lebih tinggi dan/atau uji lingkungan milder kemudian Larutan Uji A bisa membutuhkan lengan pergerakan yang lebih besar untuk mencapai awal retakan yang baik dan/atau pertumbuhan daripada lengan pergerakan yang tercantum pada Tabel 4 dan 5 untuk uji pada suhu kamar. Hal ini di luar dari lingkup dari standar ini, bagaimanapun untuk merekomendasikan nilai pergerakan khusus untuk uji dilakukan di atas suhu kamar atau dengan larutan uji *milder*. Percobaan awal mungkin dibutuhkan untuk membuat pergeseran lengan untuk uji tersebut.

Recent experience has shown that carbon and lowalloy steels tested at elevated temperatures and/or milder test environments than Test Solution A may require greater arm displacements to achieve satisfactory crack initiation and/or growth than the arm displacements listed in Tables 4 and 5 for tests at room temperature. It is beyond the scope of this standard, however, to recommend specific displacement values for tests to be performed above room temperature or with milder test solutions. Preliminary experimentation therefore may be needed to establish appropriate arm displacements for such tests.

Tabel 4 - Pergeseran lengan untuk API⁽¹³⁾ dan baja tubular untuk lapangan minyak grade lainnya

Table 4 - Arm displacements for API⁽¹³⁾ and other grade oilfield tubular steels

Grade ^(A)	Yield Strength Range		Acceptable Arm Displacement	
	MPa	(ksi)	mm	(0.001 in.)
L-80	552-655	(80-95)	0.71-0.97	(28-38)
C-90	621-724	(90-105)	0.64-0.89	(25-35)
C-95, T95	655-758	(95-110)	0.58-0.84	(23-33)
Grade 100 ^(B)	689-793	(100-115)	0.51-0.76	(20-30)
Grade 105 ^(B)	724-827	(105-120)	0.46-0.71	(18-28)
Grade 110 ^(B)	758-862	(110-125)	0.38-0.64	(15-25)
P-110	758-965	(110-140)	0.25-0.64	(10-25)
Q-125	862-1,030	(125-150)	0.25-0.51	(10-20)

^(A)API grades unless noted otherwise.

^(B)Non-API grades.

⁽¹³⁾ American Petroleum Institute (API), 1220 L St. NW, Washington, DC 20005.

Tabel 5 - Pergeseran lengan yang disarankan untuk paduan dan level kekuatan yang terpilih

Table 5 - Suggested arm displacements for selected alloys and strength levels

Material Yield Strength		Arm Displacement (δ), mm (0.001 in.) ^(A)									
MPa	(ksi)	Low-Alloy Steels ^(B)		CA-6NM		Duplex Stainless Steels		C-276		Ti-3-8-6-4-4	
522	(80)	0.71-	(28-	0.64-	(25-35)	-	-	-	-	-	-
621	(90)	1.07	42)	0.89	(18-28)	-	-	-	-	-	-
689	(100	0.58-	(23-	0.46-	(8-18)	-	-	-	-	-	-
827	)	0.89	35)	0.71	-	0.89-	(35-40)	-	-	-	-
965	(120	0.48-	(19-	0.20-	-	1.02	(25-35)	-	-	1.02-	(40-
1,10	)	0.79	31)	0.46	-	0.64-	-	1.27-	(50-70)	0.52	60)
0	(140	0.33-	(13-	-	-	0.89	-	1.78	(40-50)	-	-
1,24	)	0.58	23)	-	-	-	-	1.02-	-	-	-
0	(160	0.20-	(8-	-	-	-	-	1.27	-	-	-
	)	0.46	18)	-	-						
	(180	0.18-	(7-								
	)	0.38	15)								
		0.15-	(6-								
		0.30	12)								

^(A) These values apply at the indicated yield strength, not over a range of yield strengths. Therefore, the user should interpolate or extrapolate to the actual yield strength of the alloy being used.

^(B) For oilfield tubular steels, use Table 4.

12.5.3.1 Ukur spasi awal dari lubang pembebanan spesimen uji DCB untuk digunakan dalam menentukan pergeseran lengan yang sebenarnya.

12.5.3.1 Measure the initial spacing of the loading holes in the DCB test specimen for use in determining actual arm displacement.

12.5.3.2 Ukur spasi awal dari lubang pembebanan specimen uji DCB untuk digunakan dalam menentukan pergeseran lengan yang sebenarnya.

12.5.3.2 Measure the initial spacing of the loading holes in the DCB test specimen for use in determining actual arm displacement.

12.5.3.3 Pilih suatu tebal pasak yang akan menghasilkan pergeseran yang diharapkan pada bagian tengah rentang yang diinginkan, karena pergeseran lengan yang pasti sulit dicapai.

12.5.3.3 Select a wedge thickness that would produce an expected displacement in the middle of the desired range, because exact arm displacements are difficult to achieve,

12.5.3.4 Tekan pasak ke dalam celah, agar rata dengan ujung spesimen uji DCB.

12.5.3.4 Press the wedge into the slot, flush with the end of the DCB test specimen.

12.5.3.5 Ukur kembali spasi dari lubang, dan kemudian hitung pergeseran lengan yang sebenarnya (δ). Untuk baja karbon dan paduan rendah tahan SSC dalam Tabel 5, jika pergeseran lengan

12.5.3.5 Remeasure the spacing of the holes, and then compute the actual arm displacement (δ). For the SSC-resistant carbon and low-alloy steels in Table 5, if the actual arm displacement lies below

sebenarnya terletak di bawah rentang yang diinginkan, sebuah pasak baru boleh dimasukkan untuk mencapai pergeseran yang dapat diterima. Jika pergeseran lengan aktual terletak di atas selang yang diinginkan, pasak harus dipindahkan, dan celah EDM atau prareta kan lelah harus diperpanjang sepanjang zona deformasi plastis material sebelum pembebanan ulang spesimen uji DCB.

12.5.4 Bersihkan spesimen uji DCB dari lemak dengan pelarut dan bilas dalam aseton.

CATATAN Spesimen uji DCB yang telah mengalami praretakan lelah harus dibersihkan dengan pengelapan, tidak dengan pencelupan.

12.5.5 Letakkan spesimen uji DCB dalam bejana uji.

12.5.6 Tambahkan satu liter larutan uji per specimen uji DCB (10 sampai 12 mL/cm² dari area permukaan specimen uji DCB) terhadap bejana uji. Deaerasi sepenuhnya dengan salah satu dari metoda alternatif yang berikut ini untuk memastikan bahwa larutan uji bebas dari oksigen sebelum dicampur H₂S (lihat Lampiran B).

(a) Larutan uji mungkin dapat diaerasi di dalam bejana test dengan membersihkan dengan gas mulia dengan kecepatan 100 mL/menit sedikitnya satu jam.

(b) Larutan uji mungkin telah diaerasi di dalam bejana uji tertutup yang dibersihkan dengan gas mulia pada kecepatan 100 mL/menit untuk sedikitnya 1 jam/L larutan uji. Setelah diaerasi sebelumnya larutan uji dialirkan ke dalam bejana uji, yang telah dibersihkan dengan gas mulia sedikitnya 20 menit setelah menutup bejana uji.

(c) Metoda lain untuk mengalirkan dan diaerasi dapat digunakan apabila hasil telah selesai sebelum H₂S dialirkan.

12.5.7 Jenuhkan larutan uji dengan H₂S pada laju pengaliran sekurang-kurangnya 100 mL/menit untuk sekurang-kurangnya 20 menit/L larutan uji. Aliran H₂S yang

the intended range, a new wedge may be inserted to achieve an acceptable displacement. If the actual arm displacement lies above the intended range, the wedge shall be removed, and the EDM slot or fatigue precrack shall be extended through the zone of plastically deformed material before reloading the DCB test specimen.

12.5.4 Degrease the DCB test specimens with solvent and rinse in acetone.

NOTE Fatigue-precracked DCB test specimens shall be cleaned by wiping, not by using immersion.

12.5.5 Place the DCB test specimens in the test vessel.

12.5.6 Add one liter of test solution per DCB test specimen (10 to 12 mL/cm² of DCB test specimen surface area) to the test vessel. The test solution shall be completely deaerated by one of the following alternate methods to ensure that the test solution is oxygen-free before introducing H₂S (see Appendix B).

(a) The test solution may be deaerated within the test vessel by purging with inert gas at a rate of at least 100 mL/min for at least one hour.

(b) The test solution may be previously deaerated in a sealed vessel that is purged with inert gas at a rate of at least 100 mL/min for at least 1 h/L of test solution. After this previously deaerated test solution is transferred into the test vessel, it shall be purged with inert gas for at least 20 min after sealing the test vessel.

(c) Other methods of deaeration and transfer may be used if they result in a completely deaerated test solution prior to H₂S introduction.

12.5.7 Saturate the test solution with H₂S at a rate of at least 100 mL/min for at least 20 min/L of test solution. A continuous H₂S flow through the test

masuk bejana uji secara kontinu dan jalan keluar yang dilengkapi perangkat gas harus dijaga selama pengujian yang dilakukan dengan laju alir yang rendah. Hal ini akan menjaga konsentrasi H_2S dan tekanan yang sedikit positif untuk mencegah udara masuk ke bejana uji melalui kebocoran kecil.

Pencemaran oksigen ditandai dengan kekeruhan pada larutan uji sewaktu gas H_2S masuk bejana uji. Pengujian dibatalkan apabila larutan uji kelihatan keruh sewaktu gas H_2S masuk bejana uji. Spesimen uji harus dikeluarkan dan dibersihkan dan larutan uji dibuat ulang dan prosedur diaerasi dan pengaliran diulang.

12.5.8 Suhu larutan uji harus dijaga dalam rentang $24 \pm 1,7^\circ C$ ($75 \pm 3,0^\circ F$) melalui uji karena nilai Kissc untuk baja paduan rendah sudah ditemukan variasi yang signifikan dengan suhu dalam suhu kamar. Suhu larutan uji harus dimonitor, dan rata-rata dilaporkan.

12.5.9 Lama pengujian untuk baja karbon dan paduan rendah harus 14 hari. Untuk baja tahan karat, paduan dasar Ni, Ni/Co, Ti, atau Zr, waktu pengujian yang lebih lama diperlukan untuk menjamin bahwa retakan telah berhenti tumbuh. Untuk material ini lama pengujian seyogyanya sekurang-kurangnya 720 jam. Lama pengujian seharusnya disepakati bersama oleh seluruh pihak yang terlibat dan harus dilaporkan dengan hasil-hasilnya.

12.5.10 Bersihkan produk korosi dari spesimen uji DCB dengan pengikisan uap, dengan semburan ringan butiran atau pasir, atau dengan cara lain yang tidak menghilangkan logam dalam jumlah yang berarti.

12.5.11 Dapatkan kurva beban terhadap pergeseran dan pindahkan pasak. Beban pasak kesetimbangan (P) terletak pada perubahan kemiringan yang tiba-tiba dari kurva "lift-off" ini.

vessel and outlet trap shall be maintained for the duration of the test at a low flow rate. This maintains the H_2S concentration and a slight positive pressure to prevent air from entering the test vessel through small leaks.

Oxygen contamination is evident by a cloudy (opaque) appearance in the test solution when the H_2S gas enters the test vessel. An opaque appearance to the test solution upon H_2S entry shall disqualify the test. The test specimen shall be removed and cleaned, and the test solution makeup, transfer, and deaeration procedure repeated.

12.5.8 The temperature of the test solution shall be maintained within the range of $24 \pm 1,7^\circ C$ ($75 \pm 3,0^\circ F$) throughout the test because KISSC values for low-alloy steels have been found to vary significantly with temperature in the vicinity of room temperature. Temperature of the test solution shall be monitored, and the average reported.

12.5.9 The test duration for carbon and low-alloy steels shall be 14 days. For stainless steels, Ni-, Ni/Co-, Ti-, or Zr-base alloys, a longer test may be required to ensure that the crack has stopped growing. For these materials the test duration should be at least 720 hours. The duration of the test shall be mutually agreed upon among all interested parties and shall be reported with the results.

12.5.10 Remove corrosion products from the DCB test specimen by vapor honing, by bead- or sand-blasting lightly, or by any other means that does not remove a significant amount of metal.

12.5.11 Obtain the load-vs-displacement curve and remove the wedge. The equilibrium wedge-load (P) is located at the abrupt change in slope of this "lift-off" curve.

12.5.12 Setelah pemindahan pasak, buka secara mekanik spesimen DCB untuk memaparkan permukaan retakan. Prosedur ini mungkin memerlukan mesin uji tarik. Untuk baja feritik proses ini dapat dibuat lebih mudah dengan mendinginkan spesimen uji DCB dalam nitrogen cair dan memisahkan lengannya dengan menggunakan palu dan pahat.

12.6 Penentuan K_{ISSC} .

12.6.1 Permukaan rekahan harus diperiksa untuk karakteristik berikut :

(a) Permukaan rekahan harus memperlihatkan pertumbuhan retakan sekurang-kurangnya 2,5 mm (0,10 inci) di atas dasar takikan, celah EDM, atau praretakan lelah.

(b) Bila rekahannya nonplanar pada ujung retakan, permukaan yang cembung seharusnya tidak memproyeksikan di luar bagian "V" takikan sisi.

(c) Muka retakan harus tidak "*pinning*", akibat penjepitan termasuk retakan internal dan "*fissures*".

(d) Muka retakan seyogyanya bebas pengotor yang terbentuk secara signifikan jika retak utama masuk ke bawah atau naik ke atas, yang terbentuk awal (lebih gelap) retak tiga sisi (akar gigi). Penggabungan lebar dari sisi retak yang ada pada muka retak pada permukaan patahan tidak melebihi 25% ketebalan B_n untuk uji yang sah. retak sisi yang menjalar dari muka retakan (terbentuk awal dalam uji) harus diberikan seperempat berat muka retak tersebut. Selanjutnya spesimen DCB yang awalnya retak sisi yang terbentuk mempunyai gabungan lebar melebihi 100% ketebalan adalah tidak sah. untuk spesimen uji DCB dengan keduanya retak sisi terbentuk awal dan retak sisi pada retak muka, jumlah gabungan lebar dari retak sisi terbentuk awal dibagi empat, ditambah lebar dari muka retak, tidak boleh melebihi 25% ketebalan, B_n , unruk uji yang dipertimbangkan sebagai uji yang sah.

12.5.12 After wedge removal, open the DCB specimen mechanically to expose the crack surfaces. This procedure may require the use of a tensile machine. For ferritic steels this process can be made easier by chilling the DCB test specimen in liquid nitrogen and splitting the arms apart with a hammer and chisel.

12.6 Determination of K_{ISSC}

12.6.1 The fracture surface shall be examined for the following characteristics:

a) The fracture surface shall show at least 2,5 mm (0,10 in.) crack growth beyond the base of the chevron, EDM slot, or fatigue precrack.

b) If the fracture is nonplanar at the crack front, the convex surface shall not project beyond the "V" portion of the side groove.

c) The crack front shall not be pinned; cause of pinning include internal cracks and fissures.

d) The crack front should be free of significant disturbance created when the main crack dips below, or rises above, a previously formed (darker) triangular edge crack ("shark's tooth"). Thus the combined width of any edge crack(s) at the crack front on the fracture surface shall not exceed 25% of the web thickness B_n for a valid test. Edge cracks lying away from the crack front (that formed earlier in the test) shall be given one-fourth the weight of those at the crack front. Thus a DCB specimen whose earlier-formed edge cracks have a combined width exceeding 100% of the web thickness shall be invalid. For DCB test specimens with both earlier-formed edge cracks and edge cracks at the crack front, the sum of the combined widths of the earlier-formed edge cracks divided by four, plus the widths of those at the crack front, shall not exceed 25% of the web thickness, B_n , for the test to be considered valid;

e) Retakan seyogianya tidak bercabang menuju ke salah satu atau kedua sisi lengan (retakan sisi).

f) Muka retakan harus berjarak sekurang-kurangnya 25 mm (1,0 inci) dari ujung yang tidak bercelah; dan

g) Muka retakan dari spesimen uji DCB dengan ketebalan penuh (melengkung) tidak boleh mengarah kepada bagian ujung permukaan rekahan yang lebih dekat pada permukaan bagian dalam tubular.

12.6.2 Bila permukaan rekahan memuaskan dengan mengacu pada seluruh karakteristik dalam Butir 12.6.1., pengujian harus dinyatakan berlaku. Jarak dari ujung celah dari spesimen uji DCB hingga posisi rata-rata bagian depan retakan harus diukur dengan menggunakan jangka sorong. Dari jarak tersebut harus dikurangkan 6,35 mm (0,250 inci) untuk mendapatkan panjang retakan (a). Lokasi batas rekahan SSC/getas (pembebanan berlebih) boleh diperiksa, bila meragukan, dengan teknik pemberian noda sebelum pemisahan sisi lengan atau dengan SEM setelah pemisahan.

12.6.3 Faktor intensitas tegangan untuk SSC dari spesimen uji datar dapat dihitung menggunakan Persamaan (8) :

e) The crack should not branch into one or both of the sidearms (side-crack);

f) The crack front should be at least 25 mm (1,0 in.) from the unslotted end; and

g) The crack front of full-thickness (curved) DCB test specimens must not lead on the edge of the fracture surface closer to the tubular internal surface.

12.6.2 If the fracture surface is satisfactory with respect to all of the characteristics in Paragraph 12.6.1, the test shall be considered valid. The distance from the slotted end of the DCB test specimen to the mean position of the crack front shall be measured using a dial caliper. From that distance 6,35 mm (0,250 in.) shall be subtracted to obtain the crack length (a). The location of the SSC/brittle (overload) fracture boundary may be checked, if in doubt, by a staining technique before sidearm separation or scanning electron microscopy after separation.

12.6.3 The stress intensity factor for SSC of flat test specimens shall be calculated using Equation (8):

$$K_{ISSC} \text{ (spesimen uji DCB datar)} = \frac{Pa (2\sqrt{3} + 2,38 h / a) (B / B_n)^{1/\sqrt{3}}}{Bh^{3/2}} \quad (8)$$

$$K_{ISSC} \text{ (flat DCB test specimen)} = \frac{Pa (2\sqrt{3} + 2.38 h / a) (B / B_n)^{1/\sqrt{3}}}{Bh^{3/2}} \quad (8)$$

Keterangan

K_{ISSC} = faktor intensitas tegangan ambang batas untuk SSC

P = beban pasak kesetimbangan (akhir), diukur dalam bidang pembebanan.

a = panjang retakan, seperti yang dijelaskan dalam Paragraf 11.6.2.

where :

K_{ISSC} = threshold stress intensity factor for SSC;

P = equilibrium (final) wedge load, measured in the loading plane.

a = crack length, as described in Paragraph 11.6.2.;

h = tinggi setiap lengan

B = tebal spesimen uji DCB, dan

B_n = tebal yang tidak tertakik.

(Untuk setiap dimensi yang ditemukan dalam Paragraf 11.2.7.1. yang berada di luar toleransi yang dispesifikasi, dimensi sebenarnya ini, bukan nominalnya, harus digunakan untuk menghitung K_{ISSC} .)

12.6.3.1 Pemeriksaan perhitungan

Data: $B = 9,53 \text{ mm}$ (0,375 inci);

$B_n = 5,72 \text{ mm}$ (0,225 inci);

$h = 12,7 \text{ mm}$ (0,500 inci);

$P = 1.870 \text{ N}$ (421 lbf);

$a = 46,48 \text{ mm}$ (1,830 inci); and

$K_{ISSC} = 35,3 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ (32,1 ksi $\sqrt{\text{inci}}$).

12.6.4 Faktor intensitas tegangan untuk SSC pada spesimen uji DCB melengkung dengan ketebalan dinding penuh harus dihitung dengan menggunakan persamaan (9):

h = height of each arm;

B = DCB test specimen thickness; and

B_n = web thickness.

For any dimension that was found in Paragraph 11.2.7.1 to lie outside the specified tolerance, this actual dimension, rather than the nominal, shall be used to compute K_{ISSC} .)

12.6.3.1 Calculation check:

Data: $B = 9.53 \text{ mm}$ (0.375 in.);

$B_n = 5.72 \text{ mm}$ (0.225 in.);

$h = 12.7 \text{ mm}$ (0.500 in.);

$P = 1,870 \text{ N}$ (421 lbf);

$a = 46.48 \text{ mm}$ (1.830 in.); and

$K_{ISSC} = 35.3 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ (32.1 ksi $\sqrt{\text{in.}}$).

12.6.4 The stress intensity factor for SSC of full-wall thickness (curved) DCB test specimens shall be computed using Equation (9):

$$K_{ISSC}(\text{spesimen uji DCB melengkung}) = \left(\frac{3I}{Bh^3} \right)^{\frac{1}{2}} K_{ISSC}(\text{spesimen uji DCB datar}) \quad (9)$$

$$K_{ISSC}(\text{curved DCB test specimen}) = \left(\frac{3I}{Bh^3} \right)^{\frac{1}{2}} K_{ISSC}(\text{flat DCB test specimen}) \quad (9)$$

Keterangan

K_{ISSC} dihitung menggunakan persamaan (9); dan

Besaran I dihitung dari persamaan (10) sebagai berikut:

where

K_{ISSC} (flat DCB specimen) is calculated using Equation (9); and

Quantity I is computed from Equation (10) as follows:

$$I = -\frac{h}{4} \left(\frac{D^2}{4} - h^2 \right)^{3/2} + \frac{D^2 h}{32} \left(\frac{D^2}{4} - h^2 \right)^{1/2} + \frac{D^4}{128} \sin^{-1} \left(\frac{2h}{D} \right) + \frac{h}{4} \left[\left(\frac{D}{2} - B \right)^2 - h^2 \right]^{3/2} - \frac{h}{8} \left(\frac{D}{2} - B \right)^2 \left[\left(\frac{D}{2} - B \right)^2 - h^2 \right]^{1/2} - \frac{1}{8} \left(\frac{D}{2} - B \right)^4 \sin^{-1} \left(\frac{2h}{D - 2B} \right) \quad (10)$$

Keterangan :

B dan h memiliki harga menurut sesuai dengan Paragraf 12.6.3. ; dan

D = diameter luar tubular.

Analisis matematik dan hasil percobaan telah menunjukkan bahwa faktor koreksi untuk hasil spesimen uji DCB yang melengkung hanya meningkatkan beberapa persen, dan yang terbesar, dalam harga K_{ISSC} .

12.6.4.1 Pemeriksaan perhitungan

Data : D = 193,7 mm (7,625 inci); dan

Data lain seperti dalam paragraf 12.6.3.1.:

$$K_{ISSC} = 35,4 \text{ MPa } \sqrt{\text{m}} \text{ (32,2ksi}\sqrt{\text{in}})$$

Where

B and h have values in accordance with Paragraph 12.6.3; and

D = tubular outside diameter

Mathematical analysis and experimental results have shown that the correction factor for curved DCB test specimens results in only a few percentage increase, at most, in K_{ISSC} value.

12.6.4.1 Calculation check:

Data: D = 193,7 mm (7,625 in.); and

Other data as in Paragraph 12.6.3.1 result :

12.7 Pelaporan hasil pengujian

12.7.1 Untuk setiap set spesimen uji DCB, seluruh harga individu K_{ISSC} untuk uji yang absah harus dilaporkan. Pergeseran lengan untuk setiap spesimen uji DCB harus dilaporkan.

12.7.2 Komposisi kimia, perlakuan panas, sifat mekanik, dan data lain yang diambil harus dilaporkan.

12.7.3 Tabel 6 memperlihatkan sebuah format yang direkomendasikan untuk pelaporan data.

12.7 Reporting of test results

12.7.1 For each set of DCB test specimens, all individual values of K_{ISSC} for valid tests shall be reported. The arm displacement for each DCB test specimen shall be reported.

12.7.2 The chemical composition, heat treatment, mechanical properties, and other data taken shall be reported.

12.7.3 Table 6 shows the recommended format for reporting the data.

Tabel 6 - Formulir laporan hasil pengujian material (Bagian 1): Pengujian Metoda D – Uji standar DCB

Table 6 - Uniform material testing report form (Part 1): Testing Method D - Method D – Standard DCB test

Submitting Company	_____	Submittal Date	_____
Submitted by	_____	Telephone No.	_____
Alloy Designation	_____	General Material Type	_____
		Testing Lab	_____

Chemistry	Heat Number/Identification					
C Mn Si P S Ni Cr Mo V Al Ti Nb N Cu Other						
Material Processing History Melt Practise (e.g., OH, BOF, EF, AOD) ^(B)						
Product Form						
Heat Treatment (Specify time, temperature, and cooling mode for each cycle in process.)						
Other Mechanical, Thermal, Chemical, or Coating Treatment ^(C)						

^(A) Test method must be fully described if not in accordance with TM0177-96.

^(B) Melt practice: Open-hearth (OH), Basic oxygen furnace (BOF), Electric furnace (EF), Argon-oxygen decarburization (AOD).

^(C) E.g., cold work, plating, nitriding, prestrain

**Table 6 - Formulir laporan pengujian material (Bagian 2):
Pengujian Metoda D – Uji standar DCB**
**Table 6 - Uniform material testing report form (Part 2): -
Testing Method D – Standard DCB test**

Lab Data for Material _____ Tasted per NACE TM0177-96^(A)

Test specimen Geometry : ☐ Standard ☐ Nonstandard

Nominal Diameter _____ Gauge Length _____

Constant Load___ ☐ Dead Weight ☐ Hydraulic ☐ Other : _____

Sustained Load___ ☐ Proof Ring ☐ Spring ☐ Other : _____

☐ Post-Test Proof Ring Deflection Measurement

Chemistry : ☐ Test Solution A ☐ Test Solution B ☐ Other Test Solution _____

☐ Outlet Trap to Exclude Oxygen ☐ Temperature Maintained $24^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($75^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{F}$) ☐ Temperature Maintained _____ $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ($\pm 5^{\circ}\text{F}$)

Material Identification	Test Specimen Properties							Test Stress (% of Yield Strength)							Solution pH ^(E)		Applied Heat Treatment	Remarks (Including Surface Condition and H ₂ S Level)
	L ^(B) o c a t i o n	O ^(C) r i e n t a t i o n	YS ^(D) i t e r l e n g t h ()	U T l e n g t h m i a l e t e ()	E l o n g a t i o n (%)	R A e i r d n e a c t i o n (%)	H a r d n e s s ()	Time to Failure (Hours) NF = No Failure at 720 Hours							S t a r t	F i n i s h		

^(A) Test method must be fully described if not in accordance with NACE TM0177-96.

^(B) Location of test specimen from test piece may be: tubulars - outside diameter (OD), midwall (MW), or inside diameter (ID); solids – surface (S), quarter – midradius (MR), center (C).

^(C) Orientation may be longitudinal (L) or transverse (T).

^(D) Open parentheses must be filled with metric or English units, as appropriate to the data. Yield strength is assumed to be 0.2% offset unless otherwise noted.

^(E) Enter pH for test conducted on nonfailed specimen at highest stress if summarizing data.

Lampiran A (Informatif)

Pertimbangan keselamatan bila menangani keracunan H₂S

H₂S mungkin bertanggung jawab atas kecelakaan industri akibat keracunan lebih daripada bahan kimia tunggal lainnya. Sejumlah kecelakaan ini telah berakibat fatal. H₂S harus ditangani dengan waspada, dan percobaan yang mengguna kannya harus direncanakan dengan hati-hati. Konsentrasi OSHA maksimum yang diperbolehkan H₂S dalam udara untuk 8 jam kerja adalah 20 bagian per sejuta (ppm), jauh di atas tingkat yang dapat dideteksi dengan penciuman. Namun, indera penciuman dapat menjadi tidak peka terhadap bau setelah pemaparan 2 hingga 15 menit, bergantung pada konsentrasi, sehingga bau bukanlah merupakan sistem alarm yang dapat dipercaya.

Sekilas, berikut ini adalah beberapa dari reaksi fisiologi manusia terhadap berbagai konsentrasi H₂S. Pemaparan pada konsentrasi dalam selang 150 hingga 200 ppm untuk periode-periode yang lebih lama dapat menyebabkan edema paru-paru. Nausea, penyakit lambung, muntah, batuk-batuk, sakit kepala, pusing, dan pelepuhan, adalah tanda dan gejala peracunan dalam selang konsentrasi ini. Komplikasi paru-paru, seperti pneumonia, adalah kemungkinan kuat dari pemaparan subakut seperti ini. Pada 500 ppm, ketidaksadaran dapat terjadi dalam kurang dari 30 menit. Pada konsentrasi di atas 1000 ppm, sekali penghirupan dapat menyebabkan ketidak sadaran secara cepat, kegagalan alat pernapasan total terhentinya kerja jantung, dan kematian.

Informasi tambahan pada sifat racun H₂S dapat diperoleh dari Chemical Safety Data Sheet SD-3620 dan dari *Dangerous Properties of Industrial Materials*.²¹

Appendix A (Informatif)

Safety considerations in handling H₂S Toxicity

H₂S is perhaps responsible for more industrial poisoning accidents than is any other single chemical. A number of these accidents have been fatal. H₂S must be handled with caution and any experiments using it must be planned carefully. The OSHA maximum allowable³ concentration of H₂S in the air for an eight-hour work day is 20 parts per million (ppm), well above the level detectable by smell. However, the olfactory nerves can become deadened to the odor after exposure of 2 to 15 minutes, depending on concentration, so that odor is not a reliable alarm system.

Briefly, the following are some of the human physiological reactions to various concentrations of H₂S. Exposure to concentrations in the range of 150 to 200 ppm for prolonged periods may cause edema of the lungs. Nausea, stomach distress, belching, coughing, headache, dizziness, and blistering are symptoms of poisoning in this range of concentration. Pulmonary complications, such as pneumonia, are strong possibilities from such subacute exposure. At 500 ppm, unconsciousness may occur in less than 30 minutes. At concentrations above 1,000 ppm, a single inhalation may result in instantaneous unconsciousness, complete respiratory failure, cardiac arrest, and death.

Additional information on the toxicity of H₂S can be obtained from the Chemical Safety Data Sheet SD-3620 and from *Dangerous Properties of Industrial Materials*.²¹

Bahaya kebakaran dan ledakan

H₂S adalah gas yang mudah terbakar, dan menghasilkan sulfur dioksida (SO₂) yang beracun sebagai produk pembakaran. Sebagai tambahan, batas ledakannya berkisar antara 4,0 hingga 46 % dalam udara. Tindakan pencegahan yang memadai harus diambil untuk mencegah berkembangnya bahaya-bahaya ini.

Prosedur keselamatan selama uji

Seluruh uji harus dilakukan dalam sebuah sungkup dengan ventilasi yang cukup untuk mengeluarkan seluruh H₂S. Selama uji, laju-laju aliran H₂S seyogyanya dipertahankan rendah untuk meminimalkan jumlah gas yang dilepaskan. Suatu larutan yang mengandung 10% kaustik untuk menyerap gas buang dapat digunakan untuk meminimalkan lebih lanjut jumlah gas H₂S yang dibuang. Larutan menyengat ini membutuhkan penggantian ulang secara periodik. Suatu cara harus dibuat untuk mencegah aliran balik larutan kaustik ke dalam bejana uji jika aliran H₂S terganggu. Peralatan keselamatan yang cocok harus digunakan bila bekerja dengan H₂S.

Karena tekanan kerja hilir sering naik akibat produk korosi, kotoran padat, dan lain-lain, terakumulasi dan mengganggu pengaturan pada laju alir yang rendah, perhatian khusus seyogianya diberikan terhadap tekanan keluar pada regulator tekanan. Silinder gas harus diikat dengan kuat untuk mencegah terbalik dan pecahnya kepala silinder. Karena H₂S berwujud cair di dalam silinder. Alat ukur tekanan tinggi pada harus diperiksa secara berkala, karena relatif dengan waktu yang singkat habis setelah cairan terakhir menguap dan tekanan turun dari 1,71 MPa (250 psi) ke tekanan atmosferik. Silinder harus diganti pada saat tekanan mencapai 0,52 hingga 0,69 MPa (75 hingga 100 psig) karena pengendali pengatur tekanan mungkin menjadi tidak menentu. Aliran harus tidak dibiarkan berhenti tanpa penutupan kerangan atau pelepasan tubing pada bejana uji karena larutan uji akan terus menyerap H₂S dan bergerak ke hulu menuju pipa pengalir, alat pengatur tekanan, bahkan silinder. Sebuah

Fire and explosion hazards

H₂S is flammable gas and yield poisonous sulfur dioxide (SO₂) as a combustion product. In addition, its explosive limits range from 4,0 to 46% in air. Appropriate precautions shall be taken to prevent these hazards from developing.

Safety procedures during test

All test shall be performed in a hood with adequate ventilation to exhaust all of the H₂S. The H₂S flow rates during the test should be kept low to minimize the quantity exhausted. A 10% caustic absorbent solution for effluent gas can be used to further minimize the quantity of H₂S gas exhausted. This caustic solution needs periodic replenishing. Provision shall be made to prevent backflow of the caustic solution into the test vessel if the H₂S flow is interrupted. Suitable safety equipment shall be used when working with H₂S.

Because the downstream working pressure frequently rises as corrosion product, debris, etc., accumulate and interfere with regulation at low flow rates, particular attention should be given to the output pressure on the pressure regulators. Gas cylinders shall be securely fastened to prevent tipping and breaking of the cylinder head. Because H₂S is in liquid form in the cylinders, the high-pressure gauge must be checked frequently, because relatively little time elapse after the last liquid evaporates and the pressure drops from 1,71 MPa (250 psi) to atmospheric pressure. The cylinder shall be replaced by the time it reaches 0,5 to 0,7 MPa (75 to 100 psig) because the regulator control may become erratic. Flow shall not be allowed to stop without closing a valve or disconnecting the tubing at the test vessel because the test solution continues to absorb H₂S and move upstream into the flowline, regulator, and

katup searah dalam aliran seyogianya mencegah terjadinya masalah tersebut bila katup tersebut bekerja dengan baik. Namun demikian, bila suatu kecelakaan seperti itu terjadi, sisa H_2S seyogianya dikeluarkan secepat dan seaman mungkin, dan pamanufaktur diberitahu sehingga silinder tersebut mendapat perhatian khusus.

even the cylinder. A check valve in the line should prevent the problem if the valve works properly. However, if such an accident occurs, the remaining H_2S should be vented as rapidly and safely as possible, and the manufacturer notified so that the cylinder can be given special attention.



Lampiran B (Informatif)

Catatan penjelasan pada metode uji EC

Alasan untuk kemurnian reagen

Pengotor air yang menjadi perhatian utama adalah unsur pokok penyangga basa atau asam yang dapat merubah pH larutan uji dan senyawa organik dan inorganik yang dapat merubah sifat reaksi korosi. Unsur pengoksidasi juga dapat merubah bagian dari H_2S menjadi produk yang dapat larut, seperti asam polisulfida dan polithionik, yang juga dapat mempengaruhi proses korosi.

Material yang bersifat basa (seperti magnesium karbonat dan natrium silika aluminat) sering ditambahkan pada (atau tidak dihilangkan dari) natrium klorida teknis untuk meyakinkan karakteristik aliran bebas dan dapat sangat mempengaruhi pH secara berarti.

Sedikit pengotor oksigen dalam gas pendesak adalah lebih kritis daripada pengotor air jika nitrogen (atau gas lembam lainnya) dicampur secara kontinu dengan H_2S untuk mendapatkan suatu tekanan parsial H_2S yang lebih rendah di dalam gas sehingga konsentrasi H_2S di larutan uji menjadi lebih rendah. Produk oksidasi dapat berakumulasi, mengakibatkan perubahan laju korosi dan/atau laju masuknya hidrogen (lihat paragraf di bawah mengenai alasan untuk pengeluaran oksigen).

Persiapan spesimen

Seluruh operasi pemesinan harus dilakukan secara hati-hati dan perlahan-lahan sehingga panas berlebih, pengerukan berlebih, dan pengerjaan dingin tidak merubah sifat fisik kritis dari material. Kondisi permukaan yang seragam adalah kritikal agar hasil uji SSC konsisten.

Appendix B (Informatif)

Explanatory notes on EC test method

Reasons for reagent purity

Water impurities of major concern are alkaline- or acid- buffering constituents that may alter the pH of the test solution and organic and inorganic compounds that could change the nature of the corrosion reaction. Oxidizing agents could also convert part of the H_2S to soluble products, such as polysulfides and polythionic acids, which may also affect the corrosion process.

Alkaline materials (such as magnesium carbonate and sodium silica aluminate) are often added to (or not removed from) commercial grades of sodium chloride to assure free-flowing characteristics and can greatly affect the pH.

Trace oxygen impurities in the purge gas are much more critical than water impurities if nitrogen (or other inert gas) is continuously mixed with H_2S to obtain a lower partial pressure of H_2S in the gas and hence a lower H_2S concentration in test solution. Oxidation products could accumulate, resulting in changes in corrosion rate and/or hydrogen entry rate (see the paragraph below on Reasons for Exclusion of Oxygen).

Preparation of specimen

All machining operations shall be performed carefully and slowly so that overheating, excessive gouging, and cold work do not alter critical physical properties of the material. Uniform surface condition is critical to consistent SSC test results.

Alasan untuk pengeluaran oksigen

Mendapatkan dan mempertahankan suatu lingkungan dengan kontaminasi oksigen terlarut yang minimum telah dianggap sangat penting karena efek yang berarti telah didapatkan dari studi lapangan dan laboratorium :

1) Kontaminasi oksigen dalam air garam yang mengandung H_2S dapat menghasilkan peningkatan laju korosi secara drastis dengan pembesaran sebanyak dua orde. Umumnya, oksigen juga dapat menurunkan evolusi dan masuknya hidrogen ke dalam logam. Studi sistematis dari parameter yang mempengaruhi fenomena ini (sebagaimana semuanya berlaku pada EC) belum pernah dilaporkan dalam literatur.

2) Sejumlah kecil oksigen atau amonium polisulfida kadang-kadang ditambahkan ke dalam aliran pemurnian aqueous sehubungan dengan pengaturan pH mendekati 8 secara hati-hati untuk meminimalkan keduanya korosi dan pelepasan hidrogen. Keefektifannya berhubungan langsung dengan perubahan produk korosi.

Dengan tidak tersedianya data yang cukup untuk mendefinisikan dan menjelaskan efek dari fenomena ini terhadap EC, seluruh tindakan pencegahan yang beralasan untuk mengeluarkan oksigen seyogyanya dilakukan. Tindakan pencegahan yang disebut kan dalam standar ini akan meminimalkan efek oksigen dengan sedikit peningkatan biaya, kesulitan, dan kekompleksitasan.

Catatan peringatan

Pelarut pembersih seperti 1,1,1 trikloroethan, aseton, dan cairan hidrokarbon lainnya dapat berbahaya bila uap-uapnya terhirup atau terserap melalui kulit. Banyak senyawa hidrokarbon terklorinasi dicurigai bersifat karsinogenik dan seyogyanya digunakan hanya dengan pengamanan yang tepat.

Reason for exclusion of oxygen

Obtaining and maintaining an environment with minimum dissolved oxygen contamination is considered very important because of significant effects noted in field and laboratory studies:

1) Oxygen contamination in brines containing H_2S can result in drastic increases in corrosion rates by as much as two orders of magnitude. Generally, the oxygen can also reduce hydrogen evolution and entry into the metal. Systematic studies of the parameters affecting these phenomena (as they apply to EC) have not been reported in the literature.

2) Small amounts of oxygen or ammonium polysulfide are sometimes added to aqueous refinery streams in conjunction with careful pH control near 8 to minimize both corrosion and hydrogen blistering. The effectiveness is attributed to an alteration of the corrosion product.

In the absence of sufficient data to define and clarify the effects of these phenomena on EC, all reasonable precautions to exclude oxygen should be taken. The precautions cited in this standard minimize the effects of oxygen with little increase in cost, difficulty, or complexity.

Cautionary notes

Cleaning solvents such as 1,1,1 trichloroethane, acetone, and other hydrocarbon liquids can be hazardous if the vapors are inhaled or absorbed through the skin. Many chlorinated hydrocarbon compounds are suspected of being carcinogenic and should be used only with the proper safeguards.

Bibliografi

NACE TM 0177, *Laboratory testing of metals for resistance to specific forms of environmental cracking in H₂S environments*

NACE MR0175/ISO⁽⁵⁾ (latest revision), *Petroleum and natural gas industries- Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production*

European Federation of Corrosion (EFC) Publication #16, 2nd ed., *"Guidelines on Materials Requirements for Carbon and Low Alloy Steel for H₂S Environments in Oil and Gas Production"*

API Specification 5CT/ISO 11960 (latest revision), *Specification for Casing and Tubing*

ISO 11960 (latest revision), *Petroleum and natural gas industries- Steel pipe for use as casing or tubing for wells*

NACE Standard TM0284 (latest revision), *Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steel for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking*

ASTM D1193 (latest revision), *Standard Specification for Reagent Water*

ASTM A370 (latest revision), *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*

ASTM G49 (latest revision), *Standard Practice for Preparation and Use of Direct Tension Stress-Corrosion Test Specimens*

ASTM G38 (latest revision), *Standard Practice for Making and Using C-Ring Stress-Corrosion Test Specimens*

NACE TM 0177, *Laboratory testing of metals for resistance to specific forms of environmental cracking in H₂S environments*

NACE MR0175/ISO⁽⁵⁾ (latest revision), *Petroleum and natural gas industries- Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production*

European Federation of Corrosion (EFC) Publication #16, 2nd ed., *"Guidelines on Materials Requirements for Carbon and Low Alloy Steel for H₂S Environments in Oil and Gas Production"*

API Specification 5CT/ISO 11960 (latest revision), *Specification for Casing and Tubing*

ISO 11960 (latest revision), *Petroleum and natural gas industries- Steel pipe for use as casing or tubing for wells*

NACE Standard TM0284 (latest revision), *Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steel for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking*

ASTM D1193 (latest revision), *Standard Specification for Reagent Water*

ASTM A370 (latest revision), *Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*

ASTM G49 (latest revision), *Standard Practice for Preparation and Use of Direct Tension Stress-Corrosion Test Specimens*

ASTM G38 (latest revision), *Standard Practice for Making and Using C-Ring Stress-Corrosion Test Specimens*